

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL**



Antonio Massoud Salame

**MAPEAMENTO DAS FUNDAÇÕES
MAIS USADAS NA CIDADE DE BELÉM - PA
Aspectos Gerais e
Proposta Preliminar de Mapeamento de Soluções
Utilizadas em Casos Recentes**

**Belém
2003**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL**

Antonio Massoud Salame

**MAPEAMENTO DAS FUNDAÇÕES
MAIS USADAS NA CIDADE DE BELÉM – PA
Aspectos Gerais e Proposta Preliminar de
Mapeamento de Soluções
Utilizadas em Casos Recentes**

**Dissertação de Mestrado apresentada para
obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil.**

**Área de concentração: Construção Civil
Orientador: Prof. Dr. Júlio Augusto de
Alencar Júnior**

**Belém
2003**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL**

Antonio Massoud Salame

**MAPEAMENTO DAS FUNDAÇÕES
MAIS USADAS NA CIDADE DE BELÉM - PA
Aspectos Gerais e Proposta Preliminar de
Mapeamento de Soluções Utilizadas em Casos Recentes**

**Dissertação de Mestrado apresentada para obtenção
do grau de Mestre em Engenharia Civil.**

Defesa: Belém – PA 21 . 03. 2003

Conceito: Aprovada

Banca Examinadora

Prof. Dr. Júlio Augusto de Alencar Júnior
Dept ° de Construção Civil/UFPA – Orientador

Prof. Dr. Renato P. Cunha
Dept ° de Eng^a Civil e Ambiental - UNB - Membro

Prof. Dr. Salim Habib Fraiha Neto
Dept ° de Construção Civil/UFPA – Membro

Prof. Dr. André Luiz Guerreiro da Cruz
Dept ° de Construção Civil/UFPA - Membro

Prof. Dr. Tony Carlos Dias da Costa
Dept ° de Construção Civil UFPA - Membro

Aos meus pais Elias e Lody, pelo empenho e dedicação na minha educação e formação de caráter, em especial a minha querida mãe, cujo o amor e carinho inesgotáveis, ainda me inundam de saudade o coração.

A minha mulher Sílvia e filhos Aline, Arthur e Amanda, pelo apoio e compreensão sempre presentes, aos quais peço desculpas, pela atenção e tempo de convívio que lhes tomei para realizar este trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pará, pela iniciativa de implementação deste Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

Ao Prof. e amigo Júlio Augusto de Alencar Jr., pela orientação competente e apoio sempre disponível.

Ao Prof. Salim Fraiha Neto, pela significativa contribuição neste trabalho.

Ao Prof. André Cruz, pela colaboração na metodologia deste trabalho.

Ao Prof. Tony Carlos Dias da Costa, pela importante participação na elaboração dos mapeamentos propostos nesta dissertação.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, por todo conhecimento e experiência transmitidos no decorrer do curso.

Ao arquiteto Regivaldo Aguiar pelo expressivo auxílio na operação do ArcView e implementação do modelo *S/G*.

À amiga Berla Zila pela colaboração na coleta e lançamento dos dados.

A todos os colegas do curso de Pós Graduação em Engenharia Civil da UFPA., em especial ao amigo Kleber, pela amizade e alegres dias de convívio.

À sempre simpática Cláudia, em nome de quem agradeço a todos os funcionários e técnicos da Universidade Federal do Pará.

A todas as empresas e profissionais que nos forneceram os dados necessários à realização desta pesquisa, sem os quais este trabalho não seria possível.

“Aquele que vem a mim, escuta minhas palavras e as põe em prática, se parece com alguém que ao construir uma casa: cavou, afundou e colocou um alicerce sobre a rocha. Veio uma enchente, a torrente se chocou contra a casa, mas não pôde sacudi-la, porque estava bem construída. Ao contrário, aquele que ouve sem por em prática, parece-se com alguém que construiu a casa sobre a terra, sem alicerce. A torrente se chocou e a casa desmoronou. E foi uma ruína colossal”

Lucas 6, 47-49

RESUMO

Realiza o levantamento dos vários tipos de fundações mais comumente utilizadas na construção civil, nas últimas décadas na cidade de Belém – PA, definindo suas propriedades, peculiaridades, aspectos técnicos de seu dimensionamento, capacidade de carga e processo executivo. Identifica o tipo de solo, em que estão assentes, com respectivos perfil e características geotécnicas e efetua o mapeamento da cidade por regiões, de acordo com perfil geológico; tipo de fundação; profundidade de assentamento; processo executivo; e custo relativo. O trabalho é dividido em quatro etapas: a primeira correspondente à pesquisa bibliográfica a respeito do estudo das fundações, abrangendo desenvolvimento histórico das fundações e mecânica dos solos, no mundo, Brasil e Belém; pesquisa geotécnica e características do solo de Belém e; estudo dos *Sistemas de Informações Geográficas – SIG*; a segunda envolvendo levantamento técnico junto as empresas construtoras e firmas de projetos locais, para catalogação e formação de um banco de dados acerca das fundações praticadas na cidade; a terceira relativa a ordenação e análise técnica dos dados coletados e a quarta, consiste na redação do texto final e na elaboração de mapas da cidade, baseados em *Sistema de Informação Geográfica - SIG*, em escala 1:10.000, concernentes ao tipo de fundação; o perfil geotécnico do terreno; o tipo de solo e processo executivo; profundidade provável para a fundação e, o custo relativo da fundação em relação ao total da obra.

PALAVRAS-CHAVE: Fundações, Cidade de Belém – PA, Geotecnia, Mapeamento Geotécnico

ABSTRACT

Accomplishes the survey of the most commonly types of foundations used in the construction work, in the last decades in the city of Belém-PA; defining its characteristics, peculiarities, technical aspects of the its measurement, load capacity and, executive process. Identifies the type of the soil in which are laid with respective profile and geotechnical characteristics and divides the city into areas, mapping according to its geological profile; type of foundation; layer depth; executive process and, relative cost. The work is divided in four stages: the first one corresponds the literature review, regarding the study of the foundations, including the foundation historical development and soil mechanics in the world, in Brazil and in Belém; geotechnical research with characteristics of the soil in the area of Belém and, study of the *Geographical Information Systems – GIS*. The second stage involving technical survey in construction and design companies, for development of database concerning the foundations used in the city. The third, to relates the ordination and technical analyses of the collected data and, the fourth consists on the writing of the final text and the elaboration of the city maps, based on the *Geographical Information Systems – GIS*, in scale 1:10.000, concerning the type of foundation; the geotechnical profile of the soil; the soil's kind and the executive process; the probable foundation depth and, the relative cost of the foundation in relation to the total of the work.

KEYWORDS: Foundations, City of Belém – PA, Geotechnics, Geotechnical Mapping.

SUMÁRIO

	p.
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE TABELAS	17
LISTA DE QUADROS	20
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	21
1. INTRODUÇÃO	24
1.1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA	24
1.2. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	25
1.3. HIPÓTESES	25
1.4. OBJETIVOS.....	25
2. HISTÓRICO DAS FUNDAÇÕES	28
2.1. EVOLUÇÃO DAS FUNDAÇÕES AO LONGO DA HISTÓRIA MUNDIAL..	28
2.2. EVOLUÇÃO DAS FUNDAÇÕES NO BRASIL	35
2.3. A EVOLUÇÃO DAS FUNDAÇÕES NA CIDADE DE BELÉM	40
3. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS E AS CARACTERÍSTICAS DO SOLO DE BELÉM	66
3.1. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS – SONDAgens PRATICADAS	66
3.1.1. Objetivos Básicos	66
3.1.2. Classificação dos Métodos de Investigação Geotécnica	67
3.1.3. Principais Métodos de Investigação Geotécnica Utilizados em Belém.....	68

3.2.	O ENSAIO SPT E SUAS CORRELAÇÕES GEOTÉCNICAS	72
3.3.	CARACTERÍSTICAS DO SOLO DA CIDADE DE BELÉM	75
3.3.1.	Formação do Solo de Belém – Generalidades	75
3.3.2.	Caracterização Geotécnica de Algumas Camadas de Solo de Belém	80
3.3.2.1.	Argila Orgânica Muito Mole na Faixa Superficial das Áreas de Baixada.....	80
3.3.2.2.	Argila Mole a Média Variegada Subjacente a 1ª Camada Resistente	82
3.3.2.3.	Argila Mole a Média Cinza Escura Subjacente a 1ª Camada Resistente	84
3.3.2.4.	Silte Arenoso Fofo a Pouco Compacto na Faixa Superficial das Áreas de Cotas Altas	86
4.	FUNDAÇÕES MAIS PRATICADAS NA CIDADE DE BELÉM	89
4.1.	CONCEITO	89
4.2.	CLASSIFICAÇÃO GERAL	89
4.2.1.	Fundações Superficiais	89
4.2.2.	Fundações Profundas	90
4.3.	FUNCIONAMENTO DAS FUNDAÇÕES	92
4.4.	CRITÉRIOS GERAIS DE DIMENSIONAMENTO	94
4.4.1.	Formulações Teóricas	94
4.4.2.	Provas de Carga Sobre Placa e Fundação	96
4.4.3.	Métodos Semi - empíricos	97
4.4.4.	Métodos Empíricos	99

4.5.	MODALIDADES DE FUNDAÇÃO USADAS EM BELÉM	100
4.5.1.	Alicerce Corrido	100
4.5.2.	Blocos Simples	101
4.5.3.	Sapatas	102
4.5.4.	Tubulões	103
4.5.5.	Estacas de Madeira	105
4.5.6.	Estacas Pré Moldadas de Concreto	108
4.5.7.	Estacas Escavadas com o Uso de Injeção.....	111
4.5.8.	Estacas Escavadas de Hélice Contínua	114
4.5.9.	Estacas Tipo Franki	116
4.5.10	Estacas de Aço	118
4.6.	CONTROLES EXECUTIVOS	120
4.7.	CRITÉRIOS NORMATIVOS	122
5.	METODOLOGIA DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS	124
5.1.	METODOLOGIA DA PESQUISA	124
5.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS	128
5.2.1.	Análise dos Resultados Relacionados às Edificações	128
5.2.2.	Análise dos Resultados Relacionados às Fundações	130
5.2.3.	Análise dos Resultados Relacionados ao Solo	137
6.	PROPOSTA PRELIMINAR DE PRODUÇÃO DE MAPAS GEOTÉCNICOS DE BELÉM VOLTADOS PARA A ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES	145

6.1.	ASPECTOS GERAIS DAS METODOLOGIAS DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA	145
6.1.1.	Considerações Gerais	145
6.1.2.	Principais Metodologias	146
6.1.3.	Mapeamentos Geotécnicos Aplicados às Fundações	150
6.2.	ASPECTOS GERAIS DAS TÉCNICAS DE ELABORAÇÃO DE MAPAS GEOTÉCNICOS.....	151
6.2.1.	Sistemas de Informações Geográficas – SIG	151
6.2.2.	Sensoriamentos Remotos	154
6.2.3.	Métodos Geofísicos	155
6.2.4.	Métodos de Amostragens de Solos e Rochas	156
6.2.5.	Landforms	156
6.3.	PROCEDIMENTOS APLICADOS NA PRODUÇÃO DOS MAPAS	157
6.3.1.	Localização da Área Mapeada	157
6.3.2.	Base Cartográfica	158
6.3.3.	Procedimentos Gerais	158
6.4.	PRODUÇÃO PRELIMINAR DE MAPAS GEOTÉCNICOS PARA A CIDADE DE BELÉM, VOLTADOS PARA A ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES.....	162
6.4.1.	Mapa de Documentação do Tipo de Fundação	162
6.4.2.	Mapa das Áreas de Várzea e Terra Firme e Processo Executivo das Fundações	164
6.4.3.	Mapa do Perfil Geotécnico Esquemático do Terreno	165
6.4.4.	Mapa da Profundidade Provável para Fundações	166
6.4.5.	Mapa do Percentual de Custo Relativo da Fundação	167

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	169
7.1. QUANTO À EVOLUÇÃO DAS FUNDAÇÕES NA CIDADE DE BELÉM	169
7.2. QUANTO ÀS SONDAGENS PRATICADAS E CARACTERÍSTICAS DO SOLO DE BELÉM	170
7.3. QUANTO ÀS FUNDAÇÕES MAIS USADAS NA CIDADE DE BELÉM	171
7.4. QUANTO AOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS PRELIMINARMENTE ELABORADOS PARA A CIDADE DE BELÉM	172
7.5. QUANTO À COMPROVAÇÃO DAS HIPÓTESES	174
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	175
ANEXOS	181

LISTA DE FIGURAS

	p.
Figura 1.1 - Organograma da Dissertação	26
Figura 2.1 - Mapa da cidade de Belém – 1616 a 1631	42
Figura 2.2 - Tela de Theodoro Braga – O Forte de Belém	43
Figura 2.3 - Aspecto da Fundação do Antigo Forte São Pedro Nolasco	47
Figura 2.4 - Mapa da cidade de Belém – 1661 a 1700.	48
Figura 2.5 - Planta da Igreja e Convento dos Mercedários com o Forte São Pedro Nolasco.....	49
Figura 2.6 - Gravura da Igreja das Mercês no Início do Século XIX	50
Figura 2.7 - Planta Baixa e Corte da Igreja de Sant’Ana – de Landi.....	52
Figura 2.8 - Detalhes das Paredes da Capela do Convento de São José	53
Figura 2.9 - Plano Geral da Cidade de Belém 1791.....	54
Figura 2.10 - Palacete Bibi Costa – Construído por Francisco Bolonha	58
Figura 2.11 - Panorama do Porto de Belém no Início do Século XX.....	60
Figura 2.12 - Panorama da Doca do Reduto no Início do Século XX	60
Figura 2.13 - Panorama do Aterro da Av. Marechal Hermes no início séc.XX ..	61
Figura 2.14 - Panorama da Verticalização Atual no Bairro do Umarizal	64
Figura 3.1 - Ensaio a Percussão com Circulação D’Água.....	70
Figura 3.2 - Ensaio de Palheta – Detalhe da Palheta.....	71
Figura 3.3.a - Aspecto da Formação do Solo de Belém nas Áreas de Baixada	77
Figura 3.3.b - Aspecto da Formação do Solo de Belém nas Cotas Altas	77

Figura 3.4	- Perfil Esquemático da Geologia da Região Metrop. de Belém.	79
Figura 3.5	- Curvas Granulométricas para Três Profundidades.....	80
Figura 3.6	- Limites de Liquidez e Plasticidade ao Longo da Profundidade.	81
Figura 3.7	- Carta de Plasticidade de Casagrande.....	81
Figura 3.8	- Curva Granulométrica da Argila Mole a Média.....	84
Figura 3.9	- Curvas de Adensamento da Argila Mole a Média	85
Figura 4.1	- Resistência de Base	94
Figura 4.2	- Resistência de Base e Atrito Lateral.....	95
Figura 4.3	- Resistência Só por Atrito Lateral.....	95
Figura 4.4	- Ábaco de Terzaghi – Fatores de Capacidades de Carga.....	96
Figura 4.5	- Alicerce Corrido.....	100
Figura 4.6	- Blocos Simples.....	101
Figura 4.7	- Sapata de Fundação.....	103
Figura 4.8	- Tubulão a Céu Aberto.....	104
Figura 4.9	- Escavação de Tubulão a Céu Aberto.....	105
Figura 4.10	- Exemplo de Cravação de Estaca de Madeira.....	107

Figura 4.11	- Exemplo de Agulhamento com Capitéis na Alça Viária.....	107
Figura 4.12	- Exemplo de Cravação de Estacas de Concreto Armado.....	109
Figura 4.13	- Estacas de Seção Anelar Protendidas da Ponte do Rio Guamá..	109
Figura 4.14	- Armaduras de Estacas de Concreto Armado.....	110
Figura 4.15	- Exemplo de Execução de Estaca Raiz.....	112
Figura 4.16	- Aspectos das Estacas Raiz.....	113
Figura 4.17	- Exemplo de Estaca Tipo Hélice Contínua.....	115
Figura 4.18	- Processo Operacional Estaca Franki.....	117
Figura 4.19	- Tipos de Arranjos em Estacas Trilhos.....	119
Figura 4.20	- Fundamento das Fórmulas Dinâmicas.	121
Figura 5.1	- Gráfico – Tipo de Edificação	129
Figura 5.2	- Gráfico – Número de Pavimentos	129
Figura 5.3	- Gráfico – Ano de Execução das Fundações	130
Figura 5.4	- Gráfico – Classe das Fundações	131
Figura 5.5	- Gráfico – Processo Executivo das Fundações	131
Figura 5.6	- Gráfico – Tipo das Fundações	132

Figura 5.7	- Gráfico – Carga de Trabalho das Fundações	133
Figura 5.8	- Gráfico – Capacidade de Carga x Tipo de Fundação	134
Figura 5.9	- Gráfico -Profundidade Média das Fundações	135
Figura 5.10	- Gráfico – Profundidade Média x Tipo de Fundação	135
Figura 5.11	- Gráfico – Custo Relativo das Fundações	136
Figura 5.12	- Gráfico – Custo Relativo x Tipos de Fundações	137
Figura 5.13	- Gráfico – Perfil Geotécnico das Fundações	138
Figura 5.14	- Gráfico – Perfil Geotécnico x Profundidade	139
Figura 5.15	- Gráfico – Perfil Geotécnico x Tipo de Fundação	139
Figura 5.16	- Gráfico – Perfil Geotécnico x Custo Relativo	140
Figura 5.17	- Gráfico – Tipo de Solo de Assentamento	141
Figura 5.18	- Gráfico – Tipo de Solo x Perfil Geotécnico	142
Figura 5.19	- Gráfico – Espessura da Camada de Assentamento	143
Figura 6.1	- Localização da Área Mapeada	157
Figura 6.2	- Modelo do Mapeamento – Tipo de Fundação	163

LISTA DE TABELAS

	p.
Tabela 3.1 - Compacidade e Ângulo de atrito das Areias	73
Tabela 3.2 - Consistência e Coesão das Argilas	73
Tabela 3.3 - Módulo de Elasticidade Função do SPT	74
Tabela 3.4 - Outros Índices Correlacionados com o SPT	74
Tabela 3.5 - Taxa Admissível Usual em Solos de Belém Função do SPT	74
Tabela 3.6 - Coluna Estratigráfica da Região Metropolitana de Belém	78
Tabela 3.7 - Critérios de Identificação de Solos Colapssíveis	87
Tabela 4.1 - Fatores de Segurança Globais	95
Tabela 4.2 - Coeficientes K_{av} e α – Método Aoki-Velloso	98
Tabela 4.3 - Fórmulas do Método Aoki-Velloso	98
Tabela 4.4 - Fatores F1 e F2 – Método Aoki-Velloso	98
Tabela 4.5 - Pressões Básicas	99
Tabela 4.6 -Cargas Admissíveis Usuais em Estacas de Madeira	106

Tabela 4.7	- Cargas Adm. Usuais em Estacas Cravadas de Concreto.....	110
Tabela 4.8	-Cargas Admissíveis Usuais em Estacas Tipo Raiz	113
Tabela 4.9	-Cargas Admissíveis Usuais em Estacas Hélice Contínua.....	115
Tabela 4.10	- Cargas Admissíveis Usuais em Estacas Tipo Franki	117
Tabela 4.11	- Cargas Admissíveis Usuais em Estacas de Aço	119
Tabela 5.1	- Tipo de Fundações Utilizadas	125
Tabela 5.2	- Processo Executivo Empregado	125
Tabela 5.3	- Classificação do Solo da Camada de Assentamento	125
Tabela 5.4	- Tipos de Vias.....	127
Tabela 5.5	- Tipo de Edificação	129
Tabela 5.6	- Número de Pavimentos das Edificações.....	129
Tabela 5.7	- Ano de Execução das Fundações	130
Tabela 5.8	- Classes das Fundações	131
Tabela 5.9	- Processo Executivo das Fundações	131
Tabela 5.10	- Tipos das Fundações	132
Tabela 5.11	- Carga de Trabalho das Fundações.....	133

Tabela 5.12 - Carga de Trabalho x Tipo de Fundação	134
Tabela 5.13 - Profundidade Média das Fundações	135
Tabela 5.14 - Profundidade Média x Tipo de Fundações	135
Tabela 5.15 - Custo Relativo das Fundações	136
Tabela 5.16 - Custo Relativo x Tipos de Fundações	137
Tabela 5.17 - Perfil Geotécnico das Fundações	138
Tabela 5.18 - Perfil Geotécnico x Profundidade das Fundações	138
Tabela 5.19 - Perfil Geotécnico x Tipos de Fundações	139
Tabela 5.20 - Perfil Geotécnico x Custo Relativo	140
Tabela 5.21 - Tipo de Solo de Assentamento	141
Tabela 5.22 - Tipo de Solo x Perfis Esquemáticos	142
Tabela 5.23 - Espessura da Camada de Assentamento	143

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1 - Perfil Geotécnico Esquemático	126
Quadro 6.1 - Relação Entidades Banco de Dados Geográficos	159
Quadro 6.2 - Projeto do Banco de Dados Alfanumérico para o <i>SIG</i>	160

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABMS	Associação Brasileira de Mecânica dos Solos E Engenharia Geotécnica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C	Coesão
CODEM	Companhia de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belém
COHAB/PA	Companhia de Habitação do Estado do Pará
CPT	<i>Cone Penetration Test</i>
cm	Centímetro
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EESC – USP	Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo
E	Módulo de Elasticidade
e	Índice de Vazios
FS	Fator de Segurança
h	Umidade (%)
IG – SP	Instituto Geológico do Estado de São Paulo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INSS	Instituto Nacional de Seguridade Social
ICSMGE	Congresso Internacional de Mecânica dos Solos e Eng ^a Geotécnica
IP	Índice de Plasticidade
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISSMGE	Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Eng ^a Geotécnica
K	Coeficiente de Subsidiência para Solos Colapsíveis
K _{AV}	Coeficiente de Resistência de Base da Teoria de Aoki-Velloso
k	Coeficiente de Empuxo do Solo
kgf	Quilograma força
kN	Quilo Newton
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
m	Metro
MPa	Mega Pascal
MB	Método Brasileiro

N	Índice de Resistência a Penetração
N_c ; N_q ; N_y	Fatores de Capacidade de Carga
NBR	Norma Brasileira
OCR	<i>Over Consolidation Ratio</i> (Razão de Sobre Adensamento)
P	Carga aplicada nas fundações
q	Resistência de Base
q_{al}	Resistência de Atrito Lateral
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
S_rn	Saturação Natural (%)
Su	Resistência de Cisalhamento Não Drenada
UFPA	Universidade Federal do Pará
α	Coefficiente percentual de atrito lateral da Teoria de Aoki-Velloso
u	Porosidade
γ	Peso Específico
Φ	Ângulo de Atrito Interno do Solo
σ'	Tensão normal efetiva do solo
τ	Resistência de cisalhamento dos solos
σ'_v	Pressão vertical efetiva do solo

CAPÍTULO – 01

1. INTRODUÇÃO

CAPÍTULO – 01

1. INTRODUÇÃO:

1.1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA:

No meio técnico da construção civil, é comum se adotar um procedimento de que o projeto de fundação de uma obra seja realizado na íntegra ou, pelo menos, analisado por um profissional de geotecnia com experiência de prática de fundações no local, pois apesar das pesquisas e sondagens de subsolo que se faça no terreno da obra, o solo, principalmente em função de sua estratigrafia, muito específica de cada região, pode apresentar surpresas que levem a uma definição equivocada do projeto.

Desta forma, a experiência anterior é muito importante para qualquer das ciências e, na área geotécnica da construção civil, traduz-se em conhecimento de extrema necessidade.

Associada a este aspecto ressalta-se a formação geológica do subsolo de Belém, que, em função de sua localização geográfica, situada em plena zona equatorial, em uma bifurcação entre o Rio Guamá e a Baía do Guajará, no lado direito do delta do Rio Amazonas, caracteriza-se por um grande depósito aluvionar, enquadrada no contexto da bacia sedimentar amazônica, oriunda de sedimentos provenientes da era Cenozóica, períodos Terciário nas grandes profundidades e Quaternário nas formações mais superficiais, em perfis geotécnicos geralmente erráticos, com muita presença de argila mole e muito mole e com material orgânico, em camadas muitas vezes intercaladas por outras de maior resistência do tipo arenosa, siltosa ou mista (OLIVEIRA FILHO, 1981).

Neste contexto, justifica-se a importância de se desenvolver um trabalho que aborde experiência de fundações praticadas com sucesso anteriormente na cidade de Belém PA, para contribuir com uma melhor definição de projetos futuros, diminuindo, custos, tempo e número de situações a estudar, além de constituir-se em um documento de registro técnico, que auxilie na formação dos profissionais de engenharia civil e a toda classe construtora da cidade.

1.2. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA:

Este trabalho abrange o cadastro de pouco mais de uma centena de casos de fundações, preferencialmente de edifícios altos, praticadas nas últimas décadas, principalmente nos anos 80 e 90 do Século XX na cidade de Belém-PA.

1.3. HIPÓTESES:

O trabalho busca a observação de duas hipóteses:

a) A formação de um banco de dados, gerado a partir do levantamento e análise crítica de fundações utilizadas na sustentação de edifícios na cidade de Belém – PA, pode auxiliar na orientação inicial de projetistas e construtores locais, na melhor definição e prática de fundações, resgatando informações de extrema importância para a memória da construção civil e, reduzindo tempo, custos e número de situações a estudar.

b) É possível elaborar uma proposta inicial de modelo cartográfico, baseado em um *sistema de informações geográficas – SIG*, que mapeie a cidade em regiões, de acordo com a tendência do tipo e critérios construtivos das fundações, além de propor uma provável faixa de profundidade de fundação mais apropriada para cada área de Belém.

1.4. OBJETIVOS:

Esta dissertação tem como objetivo geral a criação de um banco de dados e análise técnica, dos tipos de fundações praticadas nas últimas décadas na cidade de Belém – PA, que auxilie na definição de projetos e execução de fundações, para a construção civil e, como objetivos específicos:

a) Catalogar as fundações mais utilizadas nos anos 80 e 90 na cidade de Belém-Pa, avaliando as características do solo em que foram assentadas, e os aspectos técnicos de sua definição e dimensionamento, processo executivo empregado, e o custo relativo.

b) Dividir a cidade de Belém, por regiões, de acordo com o tipo e características das fundações praticadas e, desenvolver mapas baseados em *sistema de informação geográfica SIG*, em escala 1:10.000, que possam fundamentar estudos geotécnicos na área da engenharia de fundações.

O trabalho foi dividido em quatro etapas: a revisão bibliográfica; a coleta de dados para a pesquisa; a análise dos resultados e; a redação final com a produção de mapas geotécnicos para Belém. O desenvolvimento foi sistematizado em duas direções principais: a primeira, concernente a revisão bibliográfica, versando acerca de um breve histórico das fundações; características do solo e fundações praticadas em Belém e noções de *SIG – Sistemas de Informações Geográficas* e, a segunda, relativa aos procedimentos metodológicos da pesquisa, abrangendo a coleta de dados; a análise dos resultados e a proposta inicial de elaboração de mapas geotécnicos para a cidade. O organograma da Figura 1.1. apresenta uma visualização geral do plano de trabalho da dissertação.



Figura 1.1 – Organograma da Dissertação

CAPÍTULO – 02

2. HISTÓRICO DAS FUNDAÇÕES

2. HISTÓRICO DAS FUNDAÇÕES

As fundações sempre ocuparam papel de vital importância para a estabilidade das edificações e, o conhecimento das características do solo de cada local junto com a modalidade de sustentação e dimensões mais apropriadas para cada tipo de edificação, ocupou no decorrer da evolução das construções, conhecimento que foi passando entre gerações e civilizações, tornando os registros das experiências anteriores, primordiais para uma concepção de projeto bem sucedida, e por isso, não devem ser de maneira nenhuma ignorados.

2.1. EVOLUÇÃO DAS FUNDAÇÕES AO LONGO DA HISTÓRIA MUNDIAL

Ao longo da história, o homem vem utilizando o solo para sustentação de suas edificações. Sua maior sensibilidade ao clima e as intempéries fizeram com que à medida que se procedeu a sua evolução, também desenvolvesse construções que lhe fornecesse abrigo e proteção. Muitas destas construções, algumas ainda existentes atualmente se constituem em desafios da engenharia e representam a capacidade humana de concebê-las e executá-las em uma época em que os materiais e tecnologia existentes eram bastante primitivos, o que demonstra que este conhecimento e experiências acumulados ao longo dos séculos, embora de constituição empírica, são de grande importância, e não devem ser desprezados.

Segundo Nápoles Neto *apud* Hachich *et al* (1996), na pré-história, inicialmente no Paleolítico, o homem abrigou-se em cavernas e grutas, algumas existentes, e outras escavadas horizontalmente ou verticalmente no solo. No Neolítico, esta tendência de abrigo e fixação, associada ao melhor conhecimento dos materiais, fez surgir pequenas cabanas de madeiras leves

ou sobre estacas elevadas, tipo palafitas a beira d'água, ou mais raramente de pedras, onde não existia madeira ou em regiões de muito vento. Havia também construções de jazigos com terra batida como os “tumulis” na Europa e os “sambaquis” e “casqueiros” no Brasil.

Na História Antiga, destacaram-se os impérios localizados no Oriente próximo. O Egito, no baixo Rio Nilo, nordeste da África, com suas pirâmides gigantescas e palácios suntuosos, utilizavam como elemento construtivo os blocos de pedra e assentavam suas fundações em terrenos firmes, previamente nivelados e recobertos com blocos calcários. A Mesopotâmia, situada na Ásia Menor, entre os Rios Tigre e Eufrates, fazia uso, principalmente de tijolos cerâmicos e executavam suas fundações em terrenos preferencialmente resistentes, utilizando sapatas de alvenaria em blocos monolíticos rígidos, com capacidade de absorção de deformações por recalques, inclusive, foi na Babilônia, por volta do ano 1.700 AC que foi criado o primeiro código de obras da história com o nome do Rei Hamurabi, o qual previa penalidades severas aos construtores de obras problemáticas, o que indica que se tinha conhecimento de recalques diferenciais e que se buscava em terrenos mais fracos, aliviar o peso das estruturas sobre as fundações. Outro aspecto importante é que muitas das construções antigas foram erguidas sobre as ruínas de edificações anteriores, em um arranjo feito com os restos das demolições, misturados e compactado, formando uma base de maior capacidade de carga (NÁPOLES NETO *apud* HACHICH *et al*, 1996).

Na Idade Clássica, os gregos, embora tenham se destacado na filosofia, nas artes e na arquitetura, pouco trouxeram de inovação às construções. Suas edificações eram na maior parte estruturadas em colunas de pedras, paredes de tijolos crus, vigamentos e cobertura em madeira e fundações em blocos de pedra, rústicos ou aparelhados, alguns, no caso de obras de maior porte, apresentavam-se superpostos até a superfície em duas ou três camadas grampeadas, com suas partes superiores aparentes denominadas de ortostatos. Data desta época também a construção de estradas com calçamento de pedra, aquedutos, pontes de madeira com pilares de tijolos, sapatas isoladas em almofada de pedras, e até mesmo radier em

camadas sucessivas de blocos de pedra aplicadas sobre uma base de argila e pedras misturadas. Processo similar a este tipo de radier, desenvolveram os Maias nas fundações de suas pirâmides, constituídas por uma camada de rocha de até 60 cm de espessura, aplicada sobre terreno antes nivelado e compactado, (NÁPOLES NETO *apud* HACHICH *et al*1996).

Nesta fase da história, incontestável contribuição à engenharia de fundações trouxe a Civilização Romana, principalmente por terem produzido obras mais suntuosas com a introdução dos arcos e das abobadas além da criação de um concreto ciclópico a base de pozolana e calcário e adição de pedaços de pedra e tijolos cerâmicos, que foram bastante utilizados nos blocos de fundação. Nos terrenos de menor resistência, faziam uso de estacas de madeira, cravadas através de bate-estacas manuais, adaptados de máquinas de guerra, e, em alguns casos adotavam a solução de peças deitadas de madeira espalhadas sob a projeção das paredes, ou ainda, formando uma fogueira de fundação, denominadas faxinas, prática muito comum em alguns prédios históricos e construções, nas áreas de baixadas e margens de rios e igarapés da cidade de Belém, como o mercado de ferro do Ver-o-Peso e a Basílica de Nazaré, (OLIVEIRA FILHO, 1981). Os Romanos também contribuíram com a fundamentação da Engenharia Civil, quando no reinado do Imperador Augustus (I séc. AC), através do engenheiro militar e arquiteto Vitrúvio, desenvolveu o tratado “De re architectura”, que traz vários capítulos voltados à técnica de execução de fundações, definindo aspectos como: dimensões, profundidades, processos executivos e soluções alternativas, incluindo a das estacas de compactação e ensecadeiras para fundações subaquáticas. Foram os Romanos também que fizeram os primeiros registros acerca da existência de atrito nos solos de formação arenosa.

Na Idade Média, o sistema construtivo da época, embora tivesse produzido castelos majestosos com fachadas de aparência fortificada e rígida, em geral não apresentavam boa constituição estrutural, com um retrocesso técnico no sentido em que a fabricação de tijolos cerâmicos, praticamente cedeu espaço para as paredes de pedra, e em muitos casos, suas fundações excederam a capacidade de carga do terreno, reforçando o fato de que estas

construções eram desenvolvidas meramente ao acaso, sem nenhum dimensionamento razoável (NAPOLES NETO *apud* HACHICH *et al*, 1996), o que levou muitas delas a ruína precoce. Nesta época, as fundações eram constituídas por alicerces de pedra ou faxinas de madeira assentes em camadas próximas ao nível do lençol freático. Era comum também o uso de estacas de madeira, tendo neste campo alcançado progresso no processo de cravação e corte com o desenvolvimento de equipamentos com funcionamento próximo aos atuais.

É importante destacar que as construções antigas, em função do desconhecimento das propriedades e comportamento dos solos, além da falta de um dimensionamento estrutural acertado tinham suas fundações definidas em caráter totalmente experimental, e muitas vezes equivocadas, o que levou várias delas a ruína ou recalques e deformações exageradas, geralmente causados em razão de estarem assentes em camadas de sustentação muito compressível, ou em função do tipo de fundação inadequada às condições locais, ou mesmo, em decorrência de deficiências destas, geradas por taxas de compressão elevadas, algumas, alcançando valores em torno de 5 a 10 kgf/cm² (NÁPOLES NETO *apud* HACHICH *et al*1996).

Neste contexto se situam obras famosas como a Torre de Pisa, na cidade de mesmo nome na Itália ocidental, construída ao longo dos anos de 1174 a 1350, o Mosteiro de York na Inglaterra, e os Campanários de Burano e São Marcos, em Veneza.

Segundo Nápoles Neto *apud* Hachich *et al* (1996), a partir da Idade Moderna, começaram a surgir os primeiros registros a respeito da geotecnia, iniciando por classificações primárias do solo como a de Gautier em 1717, identificando as areias puras e a terra comum (solo misto) como permeáveis e as argilas dito impermeáveis, e depois complementada pela classificação de Bélidor em 1729 em seu livro “La Science de Ingénieurs”, que inicia pelas rochas, separa as areias em soltas e compactadas, divide as terras em secas e úmidas e, além das argilas, faz referência aos terrenos orgânicos tipo turfas. Lambert em 1772 foi quem primeiramente citou que um projeto de fundações deveria ser definido de acordo com o terreno, em soluções por sapatas ou por

estacas. Mas foi realmente com o engenheiro e físico Charles Coulomb em 1776 que surgiu o primeiro embrião da ciência que no futuro seria denominada de Mecânica dos Solos, com seus estudos acerca do empuxo de terra e da tensão de cisalhamento dos solos. No século seguinte, outros pesquisadores destacaram-se na evolução da mecânica dos solos como Alexandre Collin em 1846 com estudos sobre estabilidade de taludes não contidos em terrenos argilosos, além de definir a coesão “C” como tensão limite ao cisalhamento das argilas e introduzir o ensaio da caixa de cisalhamento de corte plano horizontal. W. Rankine apresentou em 1859 a teoria do campo de tensões, referindo-se a um ângulo de repouso “ ϕ ” e da qual foram definidas as expressões para os coeficientes de empuxo de terra ativo “Ka” e passivo “Kp”. J. Boussinesq determinou em 1883 analiticamente que as areias apresentavam o valor variável para “ ϕ ”, já conhecido na época como ângulo de atrito interno dos solos, de valor diferente e geralmente maior que o ângulo de repouso e depois, W. Fellenius em 1918, fez a consideração simultânea da tensão cisalhante baseada na coesão das argilas “C” e na tangente do ângulo de atrito interno “ $\tan\phi$ ”, sugerindo que ambos fossem divididos por um fator de segurança “s” e, adotando no caso de argilas puras “ $\phi = 0$ ”.

Além dos progressos teóricos ocorridos no século XIX, há de se destacar a evolução dos materiais de construção, principalmente o desenvolvimento industrial do aço e a criação de um cimento obtido através da calcinação de uma mistura calcária e argila, patenteado em 1824 por Joseph Aspdin com o nome de “cimento portland”, em decorrência de sua semelhança quando endurecido, com as pedras da ilha de Portland. Mas foi o concreto armado, desde sua concepção inicial pelo francês J. Monier em 1848 na fabricação de caixas de concreto para jardinagem, reforçadas primeiramente por varetas de bambu e depois por barras de aço, que promoveu grande desenvolvimento às fundações, passando a ser utilizado praticamente em todas as suas modalidades, desde as mais simples como nas fundações diretas, assim como nas profundas, nem que fosse nos elementos complementares como nos blocos sobre estacas (NAPOLIS NETO *apud* HACHICH *et al*, 1996).

Segundo Nápoles Neto *apud* Hachich *et al* (1996), finalmente, no século XX, é criada efetivamente uma nova ciência de reconhecimento internacional, denominada de “Mecânica dos Solos”, que teve como principal articulador o conceituado engenheiro e geólogo Karl Terzaghi, o qual através de um programa de pesquisas que analisou crítica e cientificamente todo o acervo empírico sobre a geotecnia até então existentes, fundamentou a nova ciência em cima de três teorias básicas:

- a) A teoria do adensamento, através de estudos da compressibilidade das argilas, caracterizadas por sua baixa permeabilidade;
- b) A perfeita definição da resistência ao cisalhamento dos solos baseada na precisão dos parâmetros da coesão “c” e ângulo de atrito interno “ ϕ ”;
- c) A introdução do conceito de pressão efetiva decorrente da decomposição da pressão normal total, desmembrada da pressão neutra oriunda da água interna.

Estes trabalhos foram publicados em resumo, em 1925, com a denominação “Principles of Soil Mechanics (Princípios da Mecânica dos Solos)” na revista “Engineering News Record” e em 1926, editado como livro de mesmo nome, pela editora Mc Graw Hill, de Nova York, os quais até hoje, funcionam como base teórica fundamental para a geotecnia. Em seguida, Terzaghi publicou mais dois trabalhos relacionados às fundações: “Modern Conceptions Concerning Foundation Engineering”, publicado no final de 1925 e “The Science of Foundations” no ano de 1927. A partir destes estudos, foram desenvolvidos os conceitos de capacidade de carga para as fundações, através da teoria clássica definida por Terzaghi, baseada em três parcelas de carga: a primeira decorrente da coesão dos solos “C”; a segunda da pressão vertical efetiva “ σ_v ” do terreno e a terceira em função do peso específico e da largura da base da fundação, multiplicadas respectivamente por três termos denominados de fatores de capacidade de carga “Nc, Nq e Ny”, dependentes unicamente do ângulo de atrito interno do solo “ ϕ ”. Além disso, Terzaghi fez algumas adaptações nos fatores de capacidade de carga, multiplicando-os por coeficientes que variavam em função da forma da base das fundações.

Para as fundações profundas por estacas, Terzagui procurou estender os mesmos conceitos de capacidade de carga por fórmulas estáticas desenvolvidos para as fundações rasas, baseados nas três componentes de carga aludidas acima, denominando de resistência de base “q”, e depois, realizou correções relativas principalmente à inserção de uma outra parcela de carga, decorrente do atrito entre as camadas atravessadas e as superfícies laterais da fundação, denominando de resistência de atrito lateral “ q_{al} ”.

Ainda no contexto das fundações profundas, muitas propostas surgiram para tentar definir a capacidade de carga das estacas através de formulações dinâmicas, fundamentadas na teoria Newtoniana de transmissão de energia, utilizada no processo executivo de cravação. Dentre as mais conhecidas estão à fórmula de “Engineering News”, a de “Brix” e dos “Holandeses” (ALONSO, 1991). Todavia, foi demonstrado por Cummings em 1940 que estas formulações eram deficientes, devendo ser usadas somente como controle de qualidade da capacidade de carga definida em projeto por formulações estáticas (NAPOLES NETO *apud* HACHICH *et al*, 1996).

Muito embora estes novos conhecimentos tenham trazido novas perspectivas para a engenharia de fundações da época, Terzaghi fazia questão de frisar que para um projeto de fundações bem definido, era necessário além de um bom fundamento teórico na recém criada mecânica dos solos, uma classificação dos solos apropriada para a região e uma boa experiência local, que permitisse uma identificação adequada dos parâmetros geotécnicos utilizados no dimensionamento.

Em 1936, a recém criada mecânica dos solos realizou na Universidade de Harvard (Cambridge – Mass / USA), o 1º Congresso Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações “I ICSMFE”, cujos anais sintetizaram em seus dois volumes praticamente todo o conhecimento geotécnico existente até então, retratando para a engenharia de fundações uma postura agora bem mais científica do que empírica e, abrindo espaço para que após o final da segunda guerra mundial, se instalasse em 1948, durante a realização do “II ICSMFE”, na cidade de Roterdã na Holanda, a hoje

denominada de Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações “ISSMFE – International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering”, atualmente ISSMGE (Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica). Esta Sociedade continuou a realizar seus congressos internacionais, hoje denominados ICSMGE, balizados no mesmo interesse e importância dentro do meio científico, cronologicamente a cada quatro anos, inclusive o “XII ICSMFE”, realizado no Brasil, na cidade do Rio de Janeiro, no ano de 1989.

É importante ressaltar, que não foram somente as teorias de fundamentação para a mecânica dos solos que trouxeram desenvolvimento à engenharia de fundações, mais também, os métodos de investigação do subsolo, principalmente o “SPT – Standard Penetration Test” baseado na cravação a percussão normalizada de um amostrador padrão, desde de 1988 denominado de “IRTP – International Reference Test Procedure, bastante discutido nos congressos internacionais, e ainda, os novos materiais e processos executivos de fundações como o aço e o concreto armado; e as novas modalidades de estacas.

2.2. EVOLUÇÃO DAS FUNDAÇÕES NO BRASIL

O efetivo nascimento da nação brasileira data de seu descobrimento em 22 de abril de 1500, quando da chegada da esquadra de Pedro Álvares Cabral na Bahia.

Nesta época, as construções do Brasil colônia podiam ser enquadradas em três grupos principais:

- a) As obras do poder público e de cunho administrativo, que compreendiam as fortalezas militares construídas ao longo da costa e em locais estratégicos

de segurança; as sedes de governo; as cadeias; os conventos e as igrejas, estas sempre presentes em todas as etapas da história brasileira e as que recebiam maior aplicação de serviço especializado tanto na concepção de seus projetos como na construção.

- b) As obras associadas à exportação e produção comercial, principalmente as de desembarque portuário e os engenhos de cana de cana de açúcar, que durante o período das capitâneas hereditárias, constituíram-se na principal atividade comercial brasileira, dando ao Brasil no século XVII, o título de maior produtor mundial de açúcar.
- c) E as obras destinadas ao uso civil, como as residências particulares dos colonos e casas comerciais.

Segundo Vargas *apud* Hachich (1996), as fundações geralmente praticadas nestas construções eram os tradicionais alicerces corridos, constituídos por empedramento socado em valas escavadas diretamente sobre o terreno, na projeção das paredes, que buscavam atingir camadas de resistência satisfatória. Havia também, no caso de solos de menor capacidade, a prática de uma espécie de fogueira de madeira (faxinas) na base das colunas e paredes de tijolos queimados e ainda as sapatas escalonadas. Outra prática da época colonial eram os muros de pedras, grandes e pequenas, acamadas justapostas e superpostas sem argamassa, aplicadas *in natura*, na grande maioria, importadas já cortadas de Portugal.

No início do século XIX, precisamente no ano de 1807, a família real portuguesa foge para o Brasil, trazendo aproximadamente 15 mil pessoas, praticamente toda a corte portuguesa e metade da moeda em circulação em Portugal, em uma esquadra composta por 36 navios (NOVAES, LOBO, 1997, p.130). Aqui chegando, o Brasil é elevado à condição de reino unido, sendo implantadas pelo rei Dom João VI várias mudanças substanciais ao desenvolvimento brasileiro como: a abertura dos portos; a instalação de indústrias; a instituição do ensino superior; a criação da Biblioteca Nacional, a Academia Militar, o Banco do Brasil, a Escola de Belas Artes, a Escola de Comércio, o que permitiu o surgimento da formação de profissionais com base científica.

No contexto educacional, mesmo depois de proclamada a independência em 07 de setembro de 1822 e a República em 15 de novembro de 1889, o Brasil ainda era muito atrasado, chegando ao final do século XIX, com aproximadamente 85% da população analfabeta (NOVAES, LOBO, 1997). No âmbito da engenharia civil, as primeiras técnicas de construção, estruturas e fundações só começam a ser ensinadas na Academia Militar e, somente em 1845, é criado o primeiro curso específico de engenharia civil na Escola Central, desmembrada da Militar. Em seguida são criadas em 1874 a Escola Politécnica do Rio de Janeiro, onde existia o curso de engenharia civil e, em 1876 a Escola de Minas de Ouro Preto, que associada à mineração do ferro e às construções das ferrovias, promoveu o desenvolvimento dos estudos e pesquisas geológicas no Brasil, principal atividade da engenharia no período imperial (VARGAS *apud* HACHICH, 1996).

A partir das pesquisas geológicas destinadas às construções das estradas de ferro, a engenharia de fundações brasileira no tempo imperial se estendeu às obras portuárias, onde a comum existência de camadas compressíveis levou a ocorrência de muitos problemas de recalques, excetuando-se o das Docas da Alfândega do Rio de Janeiro, construída por André Rebouças com o uso de alvenaria de pedra argamassada com cimento sobre estaqueamento em madeira.

Na segunda metade do século XIX foi iniciada em Pernambuco, pelo engenheiro francês Louis Vauthier a construção de prédios totalmente com o uso de tijolos, logo depois adotada também no município de São Paulo, com o engenheiro polonês Cristino Wyzensk. Entretanto, segundo Bazin *apud* Coimbra (2002), o primeiro uso do tijolo cerâmico no Brasil se deu no colégio jesuíta da cidade de Olinda, cujas cercanias eram de paredes de tijolos. Em seguida, surgiu o uso do aço nas estruturas primeiramente nas varandas dos edifícios e depois nas coberturas metálicas primeiramente implantada no Mercado São José em Recife no ano de 1872 e depois na Estação da Luz na cidade de São Paulo em 1889 e daí em diante adotada em muitas outras estruturas. As fundações dessa época eram basicamente constituídas por alicerces que evoluíram das simples cavas de pedras, para o empedramento

argamassado sobre solo apilado, sendo já também utilizados os blocos e sapatas de fundação em alvenaria de tijolos ou pedra, assentes sobre camadas de solo compactados, em profundidades nunca inferiores a um metro. Embora as estacas de madeira já fossem conhecidas, os terrenos constituídos por solos moles eram evitados, o que demonstrava o receio com os recalques diferenciais.

No século XX a engenharia civil na já república brasileira evoluiu principalmente com o advento do concreto armado, que permitiu a construção de edifícios mais altos, com cargas de maior porte. Suas fundações praticamente se constituíam por sapatas ou blocos de concreto armado, quando rasas e, quando profundas, por estacas de madeira ou concreto armado. Obras relevantes da engenharia e importantes para o desenvolvimento geotécnico foram as construções portuárias, onde se destacam: o porto de Santos que em 1907 já compreendia 4720m de extensão, construídos em muralhas de blocos de pedras aplicados sobre uma base de concreto, apoiada em estacas de madeira e depois ampliado em 1927 com a primeira obra portuária brasileira em concreto armado sobre estacas; o porto do Rio de Janeiro iniciado em 1903, construído pelos ingleses e fundações projetadas pelo brasileiro Francisco Bicalho, constituída por caixões metálicos de ar comprimido, de 25m de comprimento, cravados por um pontão flutuante (VARGAS *apud* HACHICH; et al. 1996) e o porto de Belém, de propriedade da firma inglesa Port of Pará, construído também com grandes blocos de pedra argamassados com cimento.

Na área tecnológica relacionada às fundações, é importante ressaltar a criação em 1922 no Rio de Janeiro, da Estação Experimental de Combustíveis e Minérios, transformada em 1936 no Instituto Nacional de Tecnologia, onde em 1940 é implantada a Divisão de Mecânica dos Solos e também, a criação em 1926 do Laboratório de Ensaios de Materiais da Escola Politécnica de São Paulo, transformado no ano de 1934, quando da fundação da Universidade de São Paulo – USP, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, onde depois foi implantada em 1938, a Seção de Solos e Fundações, formada pelos engenheiros Odair Grillo, Raimundo Costa, Othelo Machado e Milton Vargas,

que desenvolveram além de muitas pesquisas e publicações na área geotécnica, o método de sondagem a percussão com circulação d'água denominado I.P.T., baseado em técnica trazida dos Estados Unidos, criando um parâmetro do solo denominado de “índice de resistência à penetração – N”, identificado pelo número de golpes de um martelo de peso padrão caindo de uma altura específica, para fazer penetrar um amostrador padronizado, 30 cm no solo. Este tipo de ensaio também foi desenvolvido de maneira similar pela firma paulista Geotécnica S/A, de propriedade de Odair Grillo, Raimundo Costa e Othelo Machado e também, definido na publicação aqui já citada “Soil Mechanics in Engineering Practice” de Terzaghi e Peck, com o nome de “Standard Penetration Test – SPT”, o que levou a uma busca de padronização internacional dos vários tipos de ensaios a percussão existentes no mundo, defendida nos congressos da Associação Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, pois já existia tanto no Brasil, como em outros países, muitos estudos e pesquisas que buscavam relacionar resistência do solo e outros parâmetros, diretamente com o índice de resistência a penetração “N” e esbarravam entre outros fatores, na grande variação dos métodos de ensaio. Após várias tentativas mal sucedidas de padronização deste tipo de método, inclusive com a criação de um subcomitê internacional, do qual fez parte o brasileiro Luciano Décourt, foi adotada a aceitação a nível internacional pela I.S.S.M.F.E., de apenas quatro tipos de métodos, dentre os quais estava o “S.P.T.”, o qual, em 1979, foi efetivamente adotado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, através da MB – 1211 “Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos” que depois foi renumerada pela NBR – 6484, de 1980, padronizando o procedimento de ensaio, o amostrador, o peso do martelo, a altura de queda e o índice de resistência à penetração “N”.

No que se refere ao desenvolvimento da engenharia de fundações no Brasil, no correr do século XX, é necessário citar a importância desempenhada pelas empresas privadas dedicadas exclusivamente às fundações.

2.3. EVOLUÇÃO DAS FUNDAÇÕES NA CIDADE DE BELÉM - PA

A cidade de Belém, localizada no grande delta do Rio Amazonas, mais precisamente na foz do Rio Guamá junto à baía do Guajará, no Estado do Pará, foi fundada em 12 de janeiro do ano de 1616, por Francisco Roso Caldeira de Castelo Branco quando da chegada de sua expedição, com propósito de colonização do norte brasileiro, após a milagrosa vitória portuguesa comandada por Jerônimo de Albuquerque na guerra contra os franceses liderados por Daniel de La Touche, que viviam no Maranhão, em novembro de 1614.

Após a instalação em solo maranhense, depois da expulsão dos franceses, a corte portuguesa, na época sob comando espanhol, verificou a necessidade de ocupação das terras do grande rio Amazonas, diante dos interesses de franceses e holandeses na região. Por indicação de Alexandre de Moura, representante do governador geral do Brasil Gaspar de Sousa, foi nomeado “Descobridor e primeiro conquistador português do Rio Amazonas”, o Capitão – Mor Francisco Caldeira, que junto com o piloto André Pereira Themudo e o então alferes Pedro Teixeira partiram de São Luís no dia 25 de dezembro de 1615, com 200 homens e 3 embarcações, com destino às terras do conhecido “Parauaçu” (grande Pará), fundando em 12 de janeiro do ano seguinte a cidade de Nossa Senhora de Belém do Grão Pará em terras ocupadas pelos índios Tupinambás e, lá erguendo em razão da data da partida, o Forte do Presépio, hoje Forte do Castelo.

Caldeira governou a colônia paraense até setembro de 1618 quando foi deposto por Balthazar Rodrigues de Melo, que governou até abril de 1619 quando foi substituído pelo terceiro governador da colônia, o capitão – mor Jerônimo Albuquerque e depois pelo incontestável herói, o já almirante Pedro Teixeira, conceituado por feitura como: a participação na batalha contra os franceses em São Luís; a viagem a pé de Belém a São Luís em busca de reforços; a expulsão dos holandeses em Gurupá e a expedição de Belém ao Peru pelo Rio Amazonas, que consolidou a ocupação portuguesa na região.

Neste período da fundação, as construções da cidade de Belém eram restritas ao interior do forte do Presépio, e depois migraram para fora até o largo da matriz (hoje Largo da Sé), para onde foi transferida a Capela de Nossa Senhora das Graças, originalmente erguida dentro da fortaleza, e que se constituiu além da primeira igreja de Belém, a primeira obra essencialmente urbana da capital, e de onde se irradiou o crescimento da cidade, através de quatro artérias: a rua do Norte (atual Cipriano Santos); a rua do Espírito Santo (atual Dr. Assis); a rua dos Cavaleiros (atual Dr. Malcher) e a rua de São João (atual Thomásia Perdigão), conforme traçado no mapa constante da Figura 2.1. Sobre as humildes construções da época, Meira Filho (1976, v.1, p.127) declarava:

Erguiam-se de madeira, rústicas moradas, cobertas de palha de pindoba, ou ubuçu, chão batido, portadas em ripado leve, urupemas nos vãos das janelas e quase nenhuma penetração de luz no interior. Ausentes do lugar materiais especializados e carência absoluta de outros elementos construtivos, os colonos dispunham com habilidade os recursos da terra; seguiam a técnica dos nativos, com o emprego de argilas, varas cipós, barro, palha etc, abundantes na região e de apreciável duração nas construções.

Tais características eram uma espécie de mistura de culturas dos portugueses e dos tupinambás, associada aos materiais existentes no local.

Já datava destes anos, a primeira sugestão de mudança do local de instalação da capital da colônia do Grão – Pará, para uma área denominada “Ponta do Mel”, localizada à margem do Rio Maguari, onde hoje se encontra a Vila de Icoaraci, em decorrência de que o local escolhido por Francisco Caldeira, tinha solo inadequado às construções, visto que a zona de terra firme se restringia somente ao barranco onde se encontrava o forte e a uma pequena nesga em seu entorno, sendo o restante bastante alagado, principalmente pelo extinto lago do Piry. Esta proposta não foi aceita pelos colonos, pois já haviam se instalado convenientemente nas imediações do forte do Presépio, mas o que de certa forma, demonstrava já existir na época, algum noção, no sentido de resistência dos solos e ocorrência de recalques.

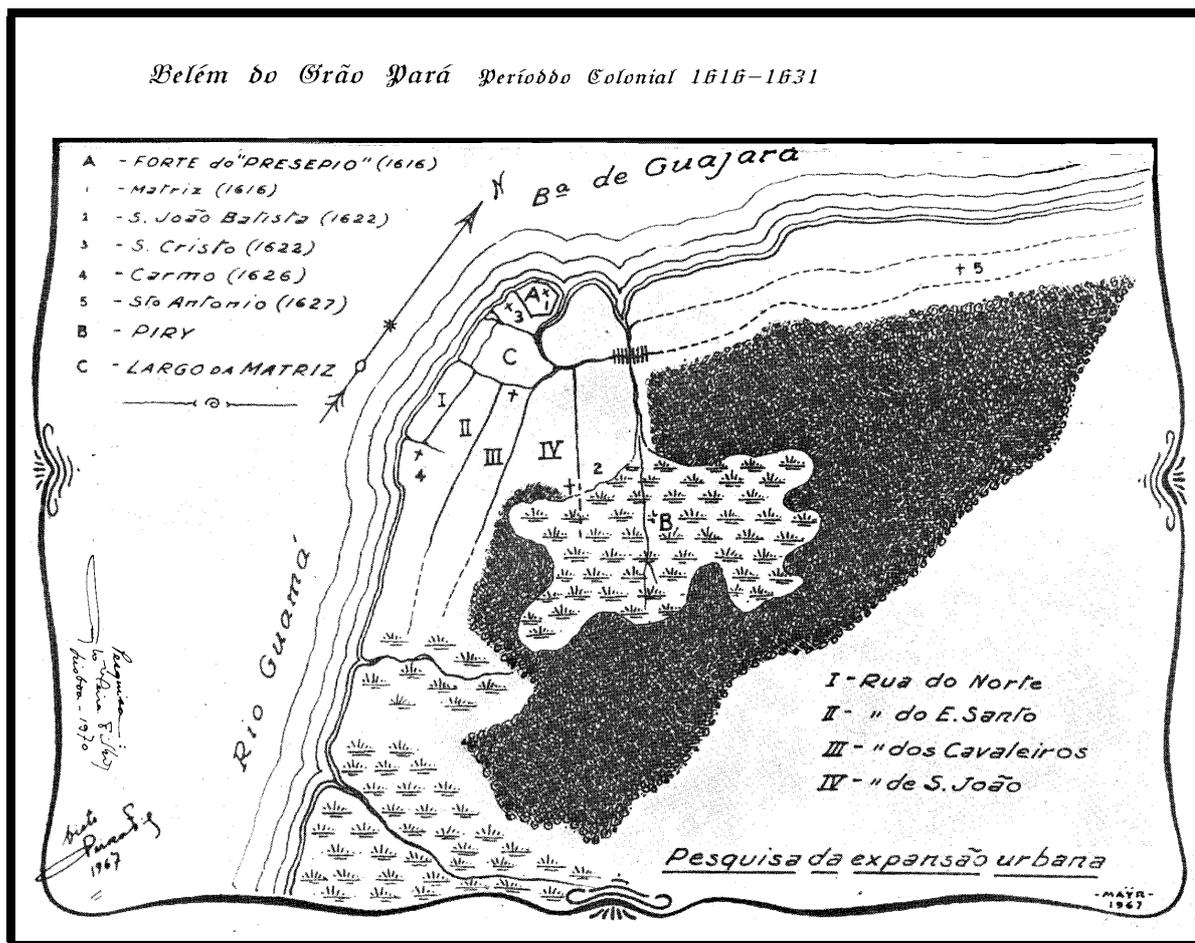


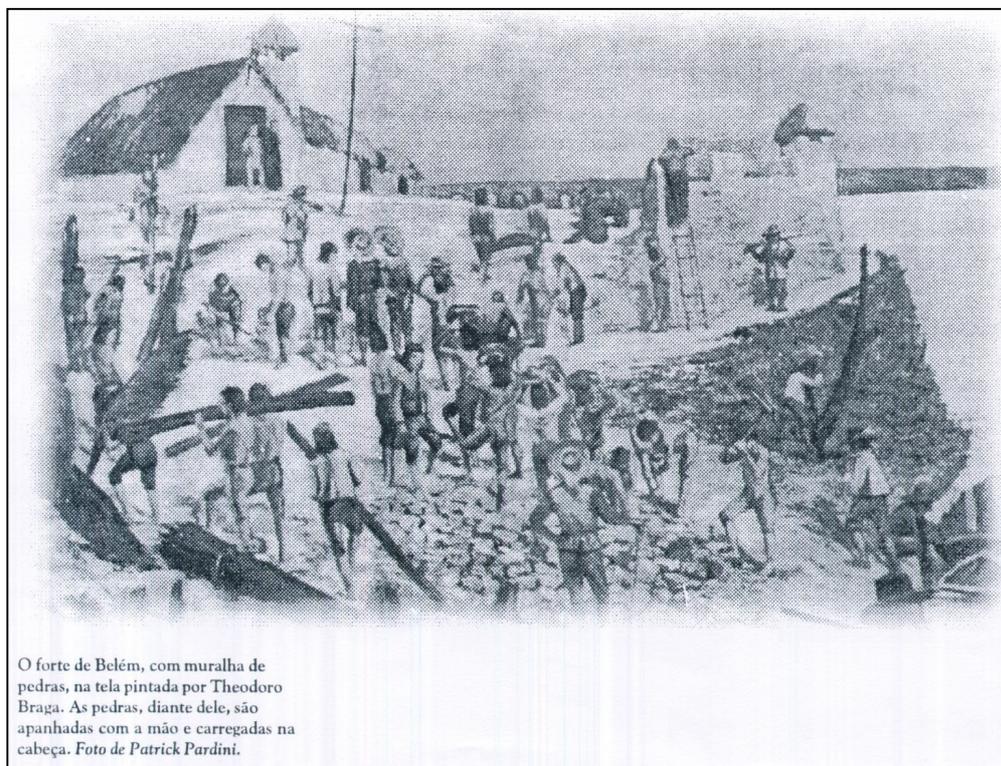
Figura - 2.1
Mapa da Cidade de Belém do Grão Pará - Período 1616 a 1631
Pesquisa da Expansão Urbana de Belém - Desenho MAYR 1967
Fonte: MEIRA FILHO (1976)

Nos anos seguintes, a cidade continuou a sua trajetória de crescimento ao longo das ruas supra citadas, com a construção da primeira versão da Capela de São João Batista, segunda igreja de Belém, erguida na rua de mesmo nome (1622); e da Capela de Santo Cristo do Forte, erguida dentro do Forte do Presépio, por ocasião de sua primeira reforma (1622), sendo tal como as capelas, edificado em taipa de pilão, técnica que consiste em amassar com pilão, solo umedecido, preferencialmente argiloso, dentro de moldes ou ripados de madeira.

Segundo Coimbra (2002), as características das edificações no período do nascimento de Belém, aliada à necessidade de reforma do forte já em 1622, geraram muita polêmica nos primeiros anos do século XX, quando o pintor e escritor paraense Theodoro Braga apresentou a tela a ele encomendada pelo

então intendente municipal Antonio Lemos, Figura-2.2, retratando a construção do forte do Presépio, no momento da fundação da cidade, erguido com muralhas de pedra apanhadas manualmente no local e carregadas na cabeça, provavelmente projetado pelo engenheiro – mor do Brasil, Francisco de Frias da Mesquita, e ainda, contendo a presença de um religioso. A historiografia oficial de Belém, nessa época, representada pelos ilustres Manoel Barata e Arthur Vianna, veiculavam a primeira versão da fortificação, como levantada em faxinas, isto é, constituída por troncos de árvores justapostos, amarrados em feixe e fincados no chão, além de negarem a presença de um religioso e de Frias na expedição de Castelo Branco, bem como, contestarem a disponibilidade de recursos materiais em pedra no local. Sobre este episódio, Cruz (1973), em “História de Belém” citou.

O Sr. Theodoro Braga, em A Fundação da Cidade de Nossa Senhora de Belém, afirma que o forte construído por Caldeira, que juntamente com a capela e alguns casebres, formavam o primeiro núcleo da futura cidade era de pedra e não de madeira. Engano do cronista.



O forte de Belém, com muralha de pedras, na tela pintada por Theodoro Braga. As pedras, diante dele, são apanhadas com a mão e carregadas na cabeça. Foto de Patrick Pardini.

Figura – 2.2
Tela de Theodoro Braga – O forte de Belém
Foto de Patrick Pardini
Fonte: COIMBRA (2002)

Em junho de 1621, é decretada a separação do Brasil em dois estados: o Estado do Maranhão que compreendia o Maranhão, Ceará e Grão Pará e o Estado do Brasil, que abrangia todo o restante da colônia.

Em 1626 se instalaram em Belém, os frades da ordem dos Carmelitas que edificaram no final da rua do Norte, próximo ao alagado do Piry, seu convento e a Capela de Nossa Senhora do Carmo, terceira igreja da cidade, utilizando as mesmas técnicas construtivas da época, com uso de madeira, cipó palha e barro. No ano seguinte a ordem dos frades Capucha de Santo Antonio, desde 1617 na colônia, se retirou do sítio do una e se instalaram em um descampado elevado, onde foi edificado o convento e a Capela de Santo Antonio.

O convento de Santo Antonio marca o avanço da cidade para além do alagadiço do Piry, que rodeava o contorno inicial da cidade, com seus pântanos que secavam no verão e enchiam no inverno, dando a vila à impressão de ser uma ilha, situada entre o Guamá, à baía do Guajará e os baixios da Juçara, denominação que os nativos davam ao Piry. Este avanço marca a criação do bairro da Campina, na busca que os colonos faziam por terrenos secos e propícios a construção com fundações sem riscos de recalques. Neste período foi novamente proposta a mudança da capital paraense para a ponta da Ilha do Sol, onde hoje se encontra a cidade de Colares.

Um marco na história da cidade deste tempo foi à chegada em Belém de dois padres franciscanos e alguns soldados espanhóis sobreviventes de uma expedição que partiu da cidade de Quito no Equador e que atacados por índios às margens do rio Napo se lançaram em fuga, descendo a deriva o rio Amazonas. Por esta razão, foi organizada uma caravana comandada pelo Capitão Mor Pedro Teixeira que em outubro de 1637 partiu em exploração, subindo o rio Amazonas em direção aos Andes, chegando ao Peru e Equador e que retornou triunfal a Belém em dezembro de 1639, dando a Portugal o domínio dessa região e a Pedro Teixeira, o título de Bandeirante da Amazônia (MEIRA FILHO, 1976 v.1, p.240).

Junto com Pedro Teixeira, chegaram dois religiosos da congregação dos Mercedários que instalaram em Belém em 1640 a 5ª casa religiosa, o convento e a igreja das Mercês às margens do Guajará, no novo bairro da Campina.

A cidade ganha maior impulso com a nova independência de Portugal do reino de Espanha, pela corte de D. João IV, e com o preponderante crescimento trazido pelas ordens religiosas instaladas na capital, de cujo largo das suas capelas, irradiava o crescimento urbanístico. Em 1650 se instalou na cidade, a irmandade de Misericórdia que ergueu sua “Santa Casa” e a capela de Santa Luzia, no bairro da Campina, entre os mercedários e os capuchos de Santo Antonio, mais precisamente onde hoje existe a pequena praça Barão de Guajará. No ano de 1653, os padres Jesuítas finalmente conseguiram se instalar em Belém, erguendo o convento de Santo Alexandre e a capela de São Francisco Xavier, em área no largo da igreja matriz, junto à margem esquerda do igarapé do Mairi. Estas construções ainda apresentavam-se constituídas por taipa e cobertura de palha, mas os missionários de Santo Inácio tinham propostas de mudanças e, mesmo tendo sido expulsos da colônia por oposição as escravidões indígenas, em 1661 e depois em 1760, foram os precursores de novos materiais e técnicas construtivas, remodelando a igreja e convento de Santo Alexandre com a aplicação de alicerces em pedra, cal e conchas de sarnambi e paredes largas argamassadas com mesmos materiais além de altar adornados com entalhe em madeira e telhas de barro. Sobre as telhas, vale ressaltar, de acordo com Coimbra (2002), foram introduzidas em Belém já em 1617, fabricadas em olaria pertencente à mulher do fundador Castelo Branco.

A cidade já apresentava por volta de 1661, a distinção de dois bairros: o bairro da Cidade, lado ocidental do Piry, onde se situavam o Forte do Presépio já denominado “Castelo de São Jorge”, a matriz, a capela de São João, a capela e convento do Carmo, o colégio e igreja dos jesuítas, a casa do Governador e a Casa da Câmara, as primeiras ruas e travessas, que se estendiam até a ponte sobre o igarapé do Mairi que levava ao novo bairro da Campina, no sentido nordeste, além do valado da juçara, sede dos Mercedários e Capuchos de Santo Antonio e para onde a colônia primitiva obrigatoriamente evoluía.

Em agosto de 1665, é iniciada a construção de um novo forte denominado de São Pedro Nolasco (nome do fundador da congregação das Mercês), em terreno cedido pelos mercedários, nos fundos de sua igreja, às margens da baía, cujas fundações em alicerce corrido constituído em pedra e cal, no formato de um coração estilizado, ainda existe atualmente em sítio arqueológico situado na Estação das Docas, onde outrora funcionou o Galpão Mosqueiro e Soure, conforme detalhe mostrado na Figura 2.3.

No ano de 1676, foi construída a residência oficial dos governadores, na Trav. da Residência, atual Trav. da Vigia, com dois pavimentos em taipa de pilão, 14 janelas no pavimento superior da fachada principal e 03 janelas em cada fachada lateral, todas de sacadas com balaústres de madeira.

Em 1682 foi instalada no bairro da Campina, a sétima casa religiosa de Belém, pela Irmandade de Nossa Senhora do Rosário.

No ano de 1688, por provisão real, é concedido a Câmara de Belém, o tributo do “Ver-O-Peso” cuja renda seria destinada à administração pública, inicialmente instalado em uma pinguela de estiva às margens do Guajará.

A cidade de Belém chega ao século XVIII com aspectos urbanos mais bem definidos, já com várias ruas abertas, denominadas: Rua do Norte (Siqueira Mendes); Rua do Espírito Santo (Dr. Assis); Rua dos Cavaleiros (Dr. Malcher); Rua de São João (Thomazia Perdigão); Rua Longa (Ângelo Custódio); Rua d’Alfama (Rodrigues dos Santos); Rua do Aljube (Cametá); Rua da Praia (15 de Novembro); Rua da Cadeia (João Alfredo); Rua do Açougue (Gaspar Viana); Rua da Paixão (13 de Maio); Rua de São Vicente (Manoel Barata); e as travessas da Residência (Vigia); da Atalaya (Joaquim Távora); da Barroca (Gurupá); dos Ferreiros (Alenquer); do Pelourinho (7 de Setembro); de São Mateus (Padre Eutíquio); do Pacinho (Campos Sales); das Mercês (Frutuoso Guimarães); das Gaivotas (1º de Março); e a dos Mirandas (Av Pte. Vargas), a qual abria o avanço para novas expansões da capital, tal como delineado no mapa da Figura 2.4, onde ainda percebe-se a divisão da cidade em dois bairros separados pelos baixios do Piry. As construções da época ainda na grande maioria constituídas de taipa de pilão já apresentavam

evolução trazidas pelas obras religiosas e militares, com as remodelações das igrejas e fortificações que começaram a apresentar os alicerces e paredes argamassadas em pedra cal, situadas sempre em local de cotas mais altas onde a formação aluvionar do solo apresentava resistência apropriada à sustentação.



Figura – 2.3
Aspecto da fundação do Forte São Pedro Nolasco
Estação das Docas.
Cidade de Belém do Pará (2002)

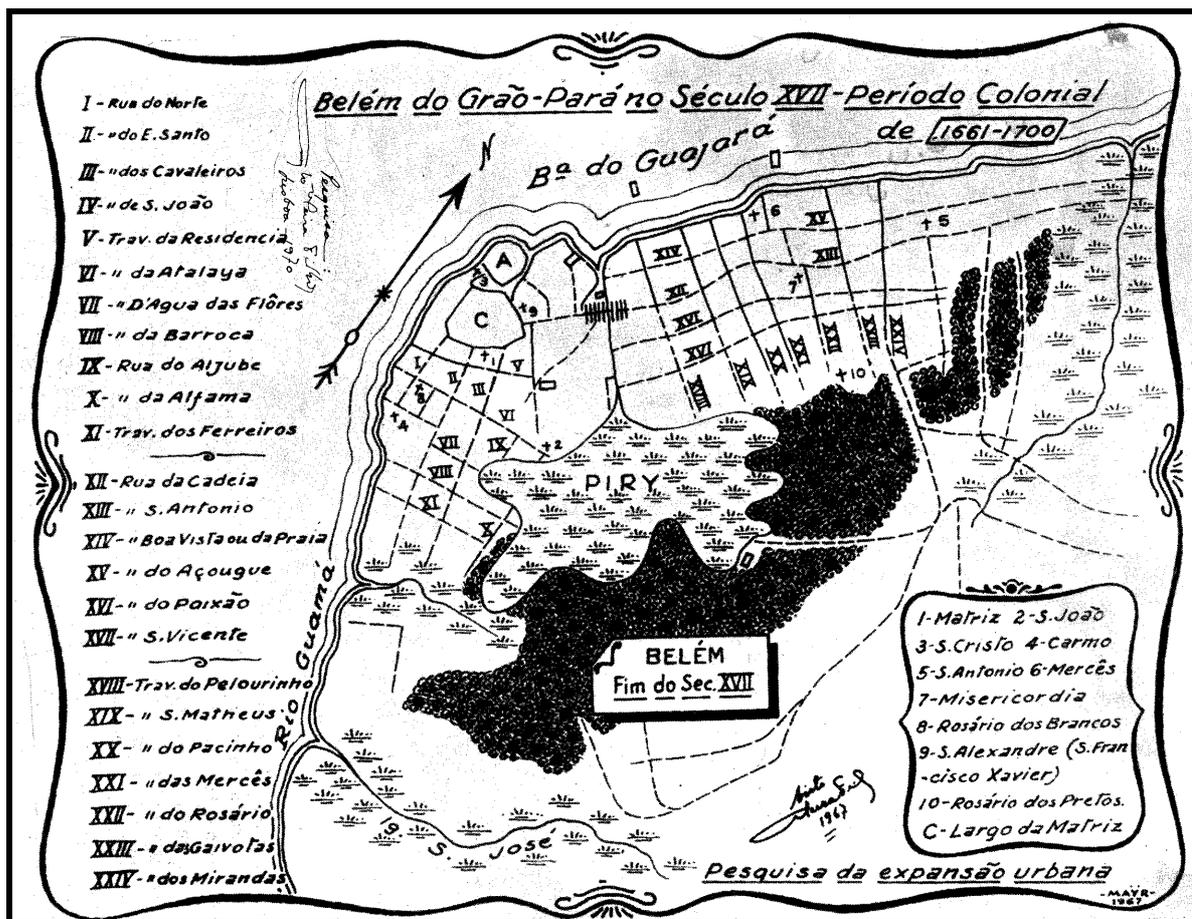


Figura – 2.4.
 Mapa da Cidade de Belém do Grão Pará – Período 1661 a 1700
 Pesquisa da Expansão Urbana de Belém – Desenho MAYR 1967
 Fonte: MEIRA FILHO (1976)

No início do século XVIII, precisamente no ano de 1706, se instalou na foz do igarapé da Comédia dos Peixes-boi, depois denominado de igarapé São José, a sétima casa religiosa da cidade, denominada convento e capela de São Boaventura, da congregação da Conceição da Beira e Minho, erguida também em madeira e taipa de pilão, onde na segunda metade do século passou a funcionar o Arsenal de Marinha do Grão Pará. Pelas mãos dos padres da congregação da Piedade, a oitava casa religiosa foi erguida também em taipa, com o nome de São José, na nascente do mesmo igarapé da Comédia dos Peixes-Boi que, perdeu esta denominação para São José quando da construção do convento, no local onde depois funcionou o presídio de mesmo nome. Em 1719, provavelmente foi concluída a construção da igreja de São

Francisco Xavier, atual Santo Alexandre, o que marcou a evolução dos processos construtivos da cidade e, no mesmo ano a modesta capela matriz de Nossa Senhora das Graças foi elevada à condição de Catedral da Sé, devido o desmembramento de Belém da diocese de São Luís, mas só em 1748 foi lançada a pedra fundamental para a construção da majestosa igreja, a qual só foi pomposamente concluída, no ano de 1771, sendo considerada a mais bela igreja brasileira da época. Data também de 1748 o início do novo templo dos Mercedários, projetado inicialmente por Pedro Ludardo e depois, a partir de 1753 foi remodelado por Antonio Landi, tendo sido concluído em 1790 (FERRAZ, 2000), nos moldes da planta baixa da Figura 2.5., onde também aparecem: o convento e o forte São Pedro Nolasco. Estas obras trouxeram à Belém técnicas e proporções construtivas similares às praticadas na Europa.

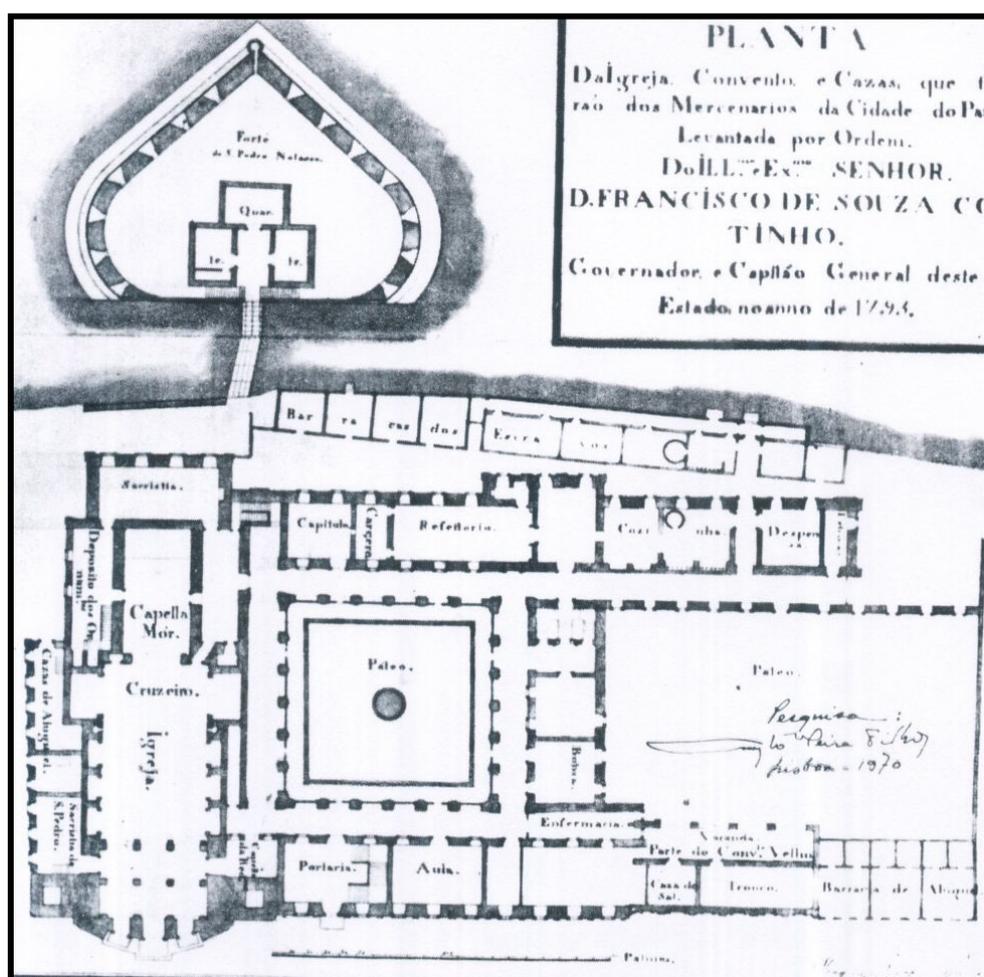


Figura – 2.5.
Planta da Igreja, e Convento dos Mercedários com o Forte São Pedro Nolasco-1793.
Fonte: MEIRA FILHO (1976)

A Figura 2.6. apresenta uma gravura da fachada da Igreja e convento dos Mercedários, mostrando também aspectos da feira na praça frontal e da praia que passava logo ao fundo, antes do aterro do porto que criou a atual Av. Castilhos França.



Figura – 2.6.
Gravura da Igreja, e Convento dos Mercedários no início do Século XIX.
Fonte: FERRAZ (2000)

Até os meados do século XVII, a capital, em função de sua situação geográfica entre o Guamá e Guajará, tomava forma de um arco de quadrante, desenvolvido no sentido leste rumo ao bairro da Campina até os limites do novo convento e capela de Santo Antônio, cujas obras foram concluídas em 1743 e ao sul na região do igarapé São José, e caminhava lentamente rumo a floresta, principalmente ao longo da Rua dos Mirandas, atual Presidente Vargas, até os confins da estrada da Estrada de Nazaré; Estrada do Utinga (Rua Magalhães Barata), e Estrada do Maranhão (Av. Almirante Barroso), sempre através de locais que apresentavam terrenos secos e firmes para a construção.

A partir da metade do século XVIII, a cidade de Belém tomou grande impulso, em decorrência da assinatura em 1750 do Tratado de Madri entre Portugal e Espanha, com o objetivo de demarcação dos territórios dos dois reinos, substituindo o Tratado de Tordesilhas e aumentando as posses portuguesas na América, principalmente na região amazônica. Para efetivar a demarcação das terras, foi mandada a Belém, uma comissão composta por militares e técnicos, que muito contribuíram para o desenvolvimento da cidade e de toda a região amazônica, e tendo se constituído de certa forma nos “primeiros profissionais da construção desta cidade”. Nesta comissão destacaram-se os Capitães *João Schwebel*; *Gaspar Gronsfeld*; e *Gregorio Rebello Camacho* e os arquitetos bolonheses *João Ângelo Brunelli* e *Antonio José Landi*. A Antonio Landi, é importante ressaltar a marcante contribuição deixada por seus projetos e trabalhos tanto para a história da arquitetura como para o desenvolvimento da construção civil e urbanização da cidade de Belém.

Dentre os trabalhos da arte inimitável e internacionalmente conhecida de Landi, se sobressaem os adornos finais da fachada e interior da Catedral da Sé; a terceira e atual concepção em pedra e cal das Igrejas do Carmo; das Mercês; do Rosário dos Homens Pretos; e da nova e famosa Capela de São João Batista; a Capela da Ordem Terceira de São Francisco; a bela Igreja de Sant’Ana, o Hospital Real e o Palácio da Residência dos Governadores, além do Quartel Militar e algumas residências particulares.

O período de Landi na história de Belém trouxe para área técnica da construção civil, expressivos avanços que, aliados a outros fatos econômicos e históricos, proporcionaram a evolução das técnicas construtivas da taipa de pilão para as fundações estruturadas em grandes alicerces de pedra e cal; paredes em alvenaria de pedra; telhados com estruturas de madeira e telhas de barro; pisos em pedras naturais; acabamentos bem delineados e fachadas com traços requintados do barroco.

A Igreja de Sant'Ana com planta baixa e corte transversal, dispostos na Figuras 2.7, foi totalmente projetada e construída por Antonio José Landi, sendo a sua preferida, é um exemplo marcante do tipo de desenvolvimento construtivo que existia em Belém já no final do século XVIII, e que mostra claramente as espessuras das paredes e o sistema estrutural praticados na época. Nesta Igreja estão depositados os restos mortais do famoso arquiteto.

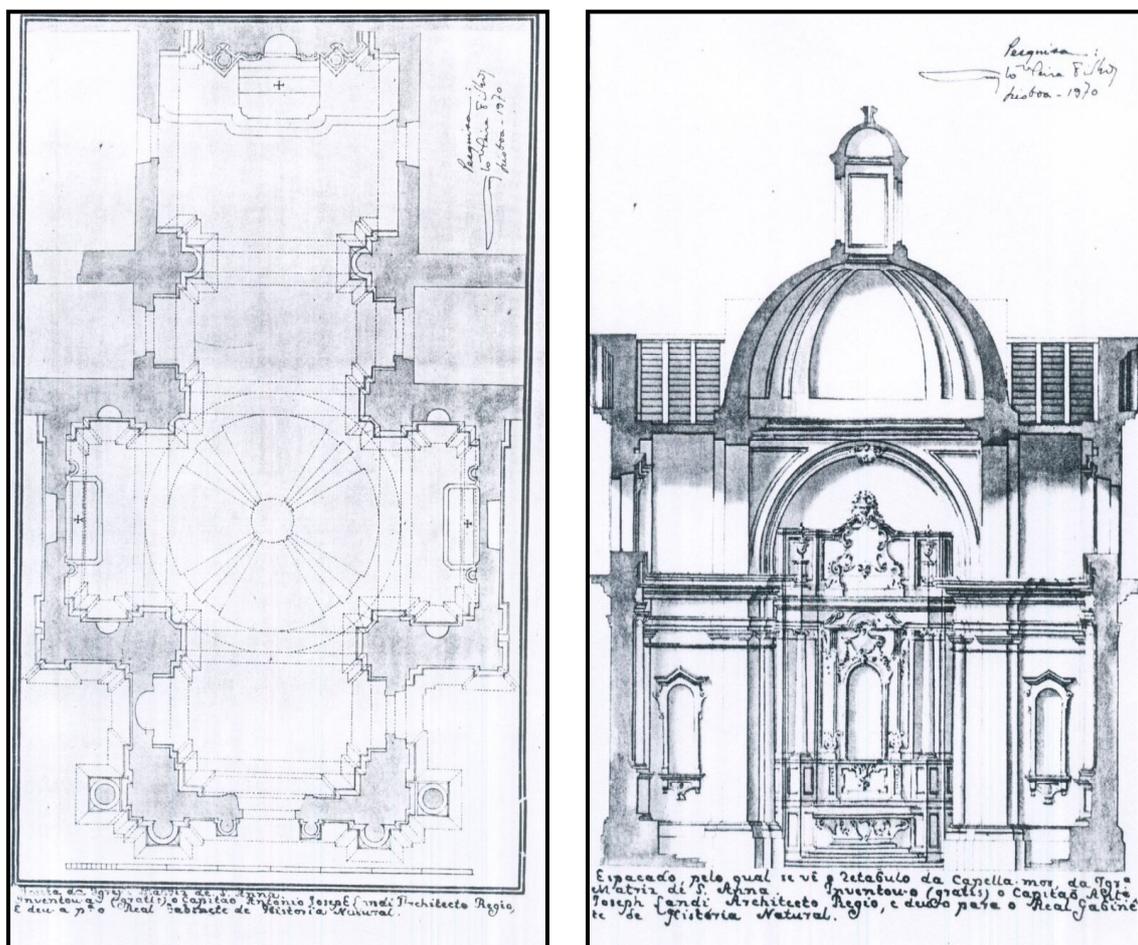


Figura – 2.7
Planta Baixa e Corte da Igreja de Sant'Ana de Autoria de Antonio Landi
Coleção Alexandre Rodrigues Ferreira
Cidade de Belém do Grão Pará
Fonte: MEIRA FILHO (1976)

A fotografia da Figura 2.8, tirada da Capela do Convento de São José, transformado depois em presídio e, atualmente compondo o Centro Turístico e oficinas de ourives denominado São José Liberto, retrata detalhadamente aspectos construtivos das paredes da época, em alvenaria de pedra, onde se percebe claramente a composição da alvenaria com pedra argamassada e, a verga da janela em forma de arco.



Figura – 2.8
Detalhes das paredes da Capela do Convento São José
Centro Turístico São José Liberto.
Cidade de Belém do Pará (2002)

Em 1773, no início da estrada do Utinga, à margem direita do igarapé do Murutucu, em um sítio onde havia vivido um nativo chamado Plácido, foi erguida a primeira ermida dedicada a devoção de Nossa Senhora de Nazaré, que já vinha sendo venerada por humildes moradores dos arredores de Belém, ainda no pequeno altar sob simplória palhoça que Plácido construiu no local onde ele havia encontrado a imagem da Santa que muitos diziam ser milagrosa. Em 08 de setembro de 1793 saiu a primeira romaria do Círio. No ano de 1800 a ermida primitiva foi substituída por outra em alvenaria de pedra, que depois deu lugar a Igreja de Nossa Senhora de Nazaré construída de 1852 a 1884, mais tarde substituída pela suntuosa e atual Basílica cuja obra iniciou em 1909.

A cidade avançou para o século XIX com um traçado bem maior que o do tempo de sua fundação, conforme mapa da Figura 2.9, datado de 1791, onde ainda é muito clara sua divisão em dois centros urbanos, o da cidade e o da campina, o contorno do Piry e a penetração para o interior, na trajetória de terras secas e firmes.

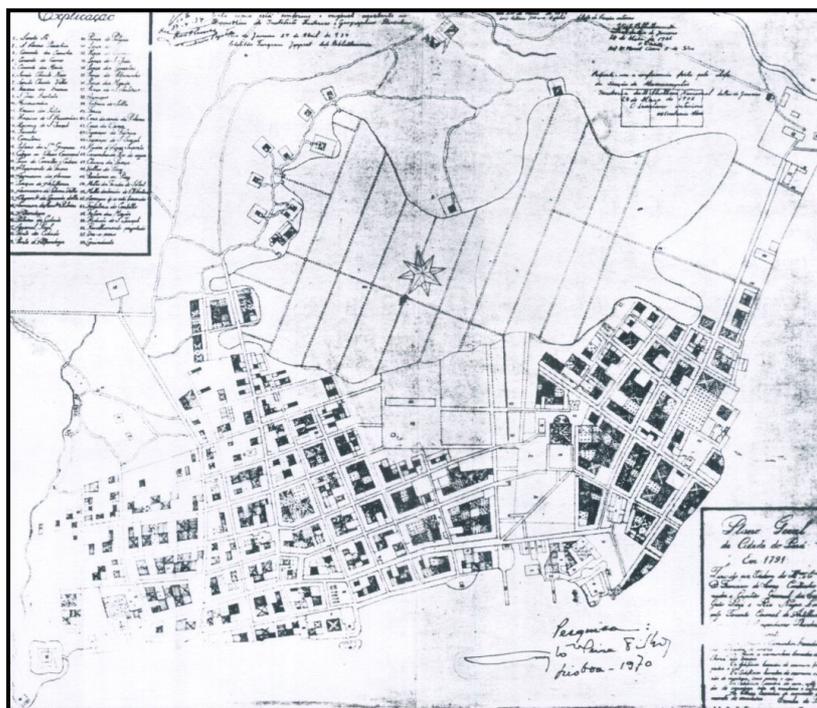


Figura – 2.9
Plano Geral da Cidade de Belém do Grão Pará – ano 1791
Autor: Ten. Cel. Eng. Theodósio Constantino de Chermont
Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro (Coleção A. Ferreira)
Fonte: MEIRA FILHO (1976)

O século XIX inicia com algumas mudanças importantes na vida da cidade. Em 1803 Belém ganhou a igreja da Santíssima Trindade, erguida nos confins do valado do Piry, em área denominada de Aldeia, junto ao primeiro cemitério da cidade, situado no final do Campo de Pólvora, no limite da atual Praça da República onde hoje funciona a Escola Normal e o Ed. Manoel Pinto da Silva. O início do século também marca o começo das obras de ensecamento do alagado do Piry, sob o governo de D. Marcos de Noronha e Brito, o Conde dos Arcos, coordenado pelo Capitão Engenheiro João Rafael Nogueira, que traçou três grandes artérias construídas de terra e cascalho, para o contorno da obra: a Rua de São José (Av. 16 de Novembro), partindo desde as docas do Ver-O-Peso, atravessando o pântano, passando por um largo do redondo e chegando ao local da atual Praça Amazonas; o prolongamento da travessa de São Mateus (Padre Eutíquio) e a criação de uma nova artéria que coletaria os despejos da drenagem da área, através de um canal central aberto, que seguiria até o Rio Guamá, passando por baixo da estrada do Arsenal de Marinha, com saída controlada por eclusas.

A obra de aterro do Piry foi um marco na engenharia da época, envolvendo serviços de drenagem; aterro sobre solos moles; construção de canal a céu aberto; comportas de controle de despejos; preparação de vias e urbanização. Estes serviços, em razão das características geográficas da localização de Belém, muito representaram no âmbito do saneamento básico, transporte, e bem estar social, além de hoje serem bastante comuns, pelas obras da macro-drenagem da bacia do Una e de alguns canais da bacia do rio Tucunduba.

Em 1807 a Família Real chegou ao Brasil, e promoveu grande impulso econômico e cultural pela ação de D. João VI já citado anteriormente. Em 1821 D. João retorna a Portugal deixando regente seu filho D. Pedro de Alcântara, que em 07 de setembro de 1822 proclama a independência do Brasil, a qual só recebeu adesão na região do Grão Pará em 15 de agosto de 1823, após a ação militar de John Grenfell, auxiliar do Almirante Cochrane da Esquadra Real do Império brasileiro, quatro meses depois do movimento cívico de

independência, ocorrido em Belém no dia 14 de abril de 1823, comandada pelo Capitão Boaventura da Silva e pelos militares Domingos Marreiros, Antonio Barreto, Oliveira Belo, Diogo Moia e Bernal do Couto.

D. Pedro I permanece como Imperador até abril de 1831, quando parte a Portugal, requerendo o trono depois da morte de D. João VI e no Brasil, deixa como substituto seu filho D. Pedro II, com ainda cinco anos, sendo o país governado até 1840 por regentes nomeados. Neste período das regências, eclodiram várias revoltas populares, dentre elas o Movimento da Cabanagem que ocorreu no Grão Pará em 1835, chegando os rebeldes camponeses, denominados cabanos, a tomar a cidade de Belém e a declarar independência da província. Mas depois de cinco anos e 35 mil mortos, quase a metade da população da província (NOVAES E LOBO, 1997), o movimento é sufocado por uma poderosa força militar.

Ao término do período colonial, a cidade de Belém já apresentava traços de urbanização bem diferentes das primitivas construções da época de sua fundação e já avançava na direção sul além do Campo da Pólvora e, edificações e sítios em Queluz, Utinga, na Conceição, no Souza e no Marco.

Mas a maior expressão de progresso na cidade viria a partir da segunda metade do século XIX, impulsionada pelo enriquecimento que atingiu alguns setores da sociedade amazônica, pela exploração e comercialização da borracha, principalmente no período de 1870 a 1910. Sarges (2000, p.16) expressou:

Em decorrência dessa nova ordem econômica, Belém assumiu o papel de principal porto de escoamento da produção gomífera, canalizando parte do excedente que se originou dessa economia para os cofres públicos os quais direcionaram o investimento para a área do urbano, com calçamento de ruas com paralelepípedos de granito importados da Europa, construção de prédios públicos, casarões em azulejos, monumentos, praças etc.

As mudanças na cidade não se refletiam apenas nas novas edificações, mas se estendiam também ao saneamento básico, com estabelecimento de redes de drenagem, esgoto e água potável, novos hábitos e costumes com padrões europeus, ordenações do tráfego, embelezamento urbano e aumento

populacionais. Este novo momento de Belém está intimamente ligado à presença e ação política do intendente Antônio José de Lemos, que inspirado em modelos urbanísticos europeus, principalmente franceses, procedeu ao longo de seus três mandatos na chefia do município, desde sua eleição para o cargo em 1897, passando pelas administrações do governo estadual de Paes de Carvalho; Augusto Montenegro e João Coelho, até ser expulso da cidade em 1912, mudanças estruturais nos aspectos urbanístico, de infra-estrutura e administrativo municipais.

No âmbito das construções a prosperidade econômica do período permitiu a realização de obras como: o Teatro da Paz, em estilo neoclássico iniciado em 1869 e inaugurado em fevereiro de 1878; o também neoclássico Arquivo e Biblioteca Pública, inaugurado em 1894, localizado na Rua Campos Sales; o Hospital D. Luiz da Beneficente Portuguesa; o Mercado Municipal, erguido em suntuosa estrutura de ferro no estilo *Art Nouveau*, com escadas espirais, ruas internas calçadas com paralelepípedos de granito e balcões em mármore; o Mercado de ferro do Ver-o-Peso, construído no mesmo estilo, com fundações em faxina de peças de madeira deitada, cuja obra iniciou em 1899 sob responsabilidade da firma La Roque Pinto & Cia e foi concluída em 1901, apresentando atualmente expressivo recalque diferencial; o Asilo da Mendicidade, construído pela firma Mendes & Cia a partir de 1899 e inaugurado por Lemos em 1902, no local onde hoje funciona a sede da Universidade do Estado – UEPA na Av. Almirante Barroso; além de 43 fábricas; 5 bancos como o do Pará na Rua João Alfredo; 4 companhias seguradoras como a Garantia da Amazônia na Trav. Campos Sales (SARGES, 2000, p.92).

Muitas também foram às construções de residências particulares que motivadas pela evolução econômica e migração do centro da cidade para novos bairros residenciais como Nazaré e Batista Campos, ergueram suntuosas moradas como o Palacete Bibi Costa (Figura-2.10) e o Palacete Bolonha, ambos na Av. Gov. José Malcher, construídos pelo engenheiro paraense Francisco Bolonha, formado pela Escola Politécnica do Rio de Janeiro.



Figura – 2.10
Palacete Bibi Costa – Av. Gov. José Malcher Belém / PA
Projetado e construído por Francisco Bolonha
Fonte: SARGES (2000)

No aspecto urbanístico, destacaram-se a reforma e construção das suntuosas praças de Belém como a praça Batista Campos e praça da República, com serviços de jardinagem, arborização, construção de coretos e quiosques urbanos no estilo *Art Nouveau* como o do Bar do Parque; a revalorização do Bosque Municipal, hoje Rodrigues Alves; a criação da Polícia Municipal e a implantação de novas Leis e Códigos de Postura, que permitiam a legislação municipal regular a vida da cidade no âmbito das construções; higienização dos estabelecimentos públicos; mercados; hotéis; pensões; hospitais; asilos; barbearias; fábricas, despejo do lixo e até mesmo a vida de seus moradores.

Com relação à infra-estrutura urbana, a cidade apresentou um avanço gigantesco, que incluiu: o calçamento com paralelepípedo de granito em todo o bairro do comércio, na Av. 15 de Agosto (atual Pte. Vargas), Av. Nazaré, Av. Independência, a Praça Brasil e a Av. Generalíssimo Deodoro até a Av. Gentil Bittencourt, as principais vias do bairro da Cidade Velha e do Reduto; calçamento com paralelepípedos de asfalto nas vias do entorno do Teatro da Paz; calçamento com uma mistura composta de granito, basalto, areia e cimento, nas vias centrais de menor tráfego; alargamento de ruas e abertura de grandes avenidas e *boulevards* como o da Castilhos França, aterros de vias e áreas de baixadas nos bairros de Batista Campos, Umarizal, São Brás, Telégrafo, Marco, Cremação e Guamá; a construção da Usina Crematória de Lixo na rua 9 de Janeiro com a Rua Cremação associada à criação de um serviço de coleta ordenado do lixo; a importação de carros mecânicos para varrição das vias públicas; a implantação de redes de distribuição de água, esgotos fecais e drenagem de águas pluviais em partes da cidade, essenciais para o saneamento, controlando a disseminação de doenças epidêmicas que se alastravam nos principais centros urbanos mundiais e ainda a desodorização do espaço público e; a edificação do Necrotério Municipal, erguido no litoral da cidade, nas docas do Ver-o-Peso. Outra obra marcante foi a construção do novo porto de Belém sob jurisdição da Companhia *Port of Pará* que utilizou blocos de concreto interpostos, lançados escalonadamente ao longo da praia da baía do Guajará, complementados pelo aterro da área, edificação dos galpões em estruturas treliçadas de ferro e dragagem do canal de acesso, o que modificou drasticamente à frente da cidade, que no início do século XX apresentava o panorama das Figuras 2.11 e 2.12, respectivamente na região da Av. Pte. Vargas e Doca do Reduto e que, atualmente se encontra bastante alterada pela mudança do porto. Ainda na infra-estrutura, da cidade implantou-se o serviço de viação pública inaugurado por Antonio Lemos e pelo então governador Augusto Montenegro, no dia 15 de agosto de 1907, com sede na antiga estação da Independência, sob gerência da firma inglesa *Pará Elétric Railwais and Lighting Company*, concessionária dos transportes por bondes e da energia elétrica de Belém.



Figura – 2.11
Panorama do Porto da Cidade de Belém no início do século XX
Fonte: SECULT (1996)



Figura – 2.12
Panorama da Doca do Reduto (atual Praça Magalhães)
Cidade de Belém no início do século XX
Fonte: SECULT (1996)

A Figura 2.13 retrata claramente a extensão do aterro gerado com a construção do novo porto de Belém no início do Século XX, ao longo da Av. Marechal Hermes.



Figura – 2.13
Aspecto do aterro da Av. Marechal Hermes no início do século XX.
Fonte: SECULT (1996)

Com a queda do preço da borracha no mercado internacional devido às plantações de seringueiras no continente asiático, Belém entrou na terceira década do século XX, empobrecida e endividada, e deixou morrer junto com o fim da Velha República após a revolução que colocou Getúlio Vargas no poder central brasileiro em 1930, o apogeu e o sonho de grandeza da bela cidade da zona equatorial. Com a Segunda Grande Guerra Mundial e o domínio japonês na Ásia, o comércio gomífero voltou a olhar para o norte do Brasil, foi criado o Banco da Amazônia, mas até o final da guerra a economia da borracha não conseguiu se organizar e continuou apática.

No aspecto das construções, ocorreu grande progresso decorrente da criação da Escola de Engenharia do Pará no ano de 1921 que, só alguns anos depois, passou a ter sede, localizada na Rua Campos Sales, esquina da Rua Manoel Barata, onde hoje se encontra um estacionamento comercial (OLIVEIRA, 1992). Na década de 70, o curso de engenharia civil, já englobado

pela Universidade Federal do Pará, foi transferido para o campus do Guamá, onde funcionam o Laboratório de Solos e o de Materiais de Construção, que muito contribuíram para a evolução das construções locais. Em 1980 é criado o segundo curso de engenharia civil da cidade, pelo Centro de Estudos Superiores do Estado do Pará – CESEP, hoje transformado em Universidade da Amazônia – UNAMA. No ano de 2001, surgiu o terceiro curso de engenharia civil, implantado pela Faculdade Ideal - FACI.

Segundo Oliveira (1992), na antiga Av. 15 de Agosto, hoje Av. Presidente Vargas, a partir da administração de Manuel Barata, que na década de 30 do século XX, nela promoveu um novo alinhamento, surgiu um importante corredor econômico-financeiro, com a instalação de hotéis, órgãos públicos como Correios e INAMPS, cinemas e, agências de transportes, valorizando a avenida tanto pela sua nova configuração como também pelo fato de se localizar em terreno de elevadas cotas de nível. Outro fator importante para o desenvolvimento da avenida, foi a Lei n ° 3.450 de 06.10.1956, que estabeleceu para a via um gabarito mínimo de 12 pavimentos. Dessa forma a cidade iniciou seu processo de verticalização, implementado principalmente por profissionais locais como o engenheiro Judah Levy, que em 1949 construiu o primeiro edifício alto de Belém, o Ed. Piedade, na esquina da Av. Presidente Vargas com a Rua Riachuelo, com 12 pavimentos e, a partir daí, sempre em terrenos situados em cotas topográficas altas, em solo de boa capacidade de carga, e com o uso de fundações diretas, a verticalização foi seguindo o eixo da Av. Presidente Vargas onde foram erguidos entre outros, os edifícios: do INSS em 1949 com 10 pavimentos; o Ed. Renascença em 1952 com 12 pavimentos; o Ed. Importadora de Ferragens em 1954 com 10 pavimentos; o Ed. Palácio do Rádio em 1956 com 13 pavimentos; avançando até Av. Nazaré com a Av. Serzedelo Corrêa onde foi erguido o Ed. Manoel Pinto da Silva em 1954, com 26 pavimentos, na época, possuidor do título de o prédio mais alto de Belém e um dos maiores do Brasil e; seguiu o caminho das terras secas e mais valorizadas, dos bairros de Nazaré, Batista Campos, e depois mais recentemente no Umarizal, Jurunas, São Brás, Pedreira e Marco.

Mas o binômio solo / fundação, se constituía quase sempre em fator decisivo para o avanço da verticalização da cidade, diante da grande superfície de Belém localizada em cotas baixas com formação aluvionar recente e com muita presença de depósitos orgânicos, que exigiam fundações profundas. Estas, praticamente só começaram a ser adotadas em maior escala, a partir dos anos 70, trazidas pelas novas tecnologias geradas pelo desenvolvimento da mecânica dos solos e de novos processos executivos, os quais foram incorporados rapidamente pelos profissionais da região, aliada também ao fato da implantação do canal e urbanização da Av. Doca de Souza Franco (OLIVEIRA, 1992).

O município continuou crescendo e avançando para o interior, com atividades fundamentadas no comércio, no extrativismo e em poucas indústrias. Foi implantada a rodovia Belém – Brasília, acabando com o isolamento rodoviário, o que promoveu grande impulso para o desenvolvimento de Belém.

As fundações praticadas nos edifícios da cidade nessa época, quando em terrenos resistentes, eram geralmente do tipo sapata ou tubulão a céu aberto e quando em solos superficialmente fracos, adotavam estacas cravadas a percussão do tipo pré-moldadas de concreto, estacas escavadas tipo Franki (pouco usada), estacas metálicas geralmente constituídas por trilhos isolados ou agrupados em dois ou três; estacas de madeira em edificações de menor porte, devido seu baixo custo e facilidade de obtenção.

A partir da segunda metade da década de 80, novos padrões de estacas foram incorporados à construção de edifícios com o advento de estacas escavadas tipo presso-injetadas e das estacas raiz, e ainda, no início do século XXI, ocorreu à implementação do moderno processo da estaca escavada tipo hélice contínua.

A cidade continuou sua corrida de verticalização, elevando o número de pavimentos máximo dos edifícios de Belém ao longo do século XX: de 02 para 05 na década de 30; depois para 12 nos anos 40; 26 nos anos 50; baixando para 17 na década de 60; indo a 20 nos anos 70; 22 nos anos 80 e 90 e; ultrapassando os 30 pavimentos no início do novo século.

A fotografia da Figura 2.12 apresenta um panorama parcial do bairro do Umarizal, onde a verticalização se disseminou e já ultrapassou a altura dos 30 pavimentos.



Figura – 2.12
Panorama da verticalização do bairro do Umarizal
Cidade de Belém - PA (2003)

Alavancando a implantação das novas tecnologias das fundações na cidade de Belém, vale ressaltar que além dos cursos de engenharia civil, muito contribuíram as empresas privadas e profissionais de atuação específica na área.

CAPÍTULO – 03

3. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS E AS CARACTERÍSTICAS DO SOLO DE BELÉM

3. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS E AS CARACTERÍSTICAS DO SOLO DE BELÉM:

3.1. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS / SONDAgens PRATICADAS

Para a devida definição de um projeto de fundação, é imprescindível o conhecimento das características e propriedades do solo de sustentação, além de se estabelecer parâmetros da mecânica dos solos que possam fundamentar a determinação da capacidade de carga e comportamento de deformação associados à camada de apoio das fundações. Desta forma, principalmente a partir do advento da mecânica dos solos no início do século XX, a investigação do subsolo voltada à engenharia de fundações, através de ensaios de sondagens de diversas tipologias, vem ocupando papel primário na concepção do projeto e processos executivos mais apropriados.

3.1.1. Objetivos Básicos

Os objetivos principais buscados em um programa de investigação geotécnica para fundamentação de obras de engenharia são:

- a) Identificação das camadas ao longo da profundidade do subsolo, determinando suas espessuras, profundidades, inclinação e extensão.
- b) Classificação das camadas, de acordo com sua composição, grau de compactidade ou consistência, granulometria e coloração.
- c) Informações associadas à ocorrência de água no subsolo, com registro do nível do lençol freático e dos lençóis artesianos e empoleirados.

- d) Definição dos índices e parâmetros geotécnicos dos solos, principalmente os relacionados à resistência ao cisalhamento, compressibilidade e permeabilidade das camadas.
- e) Identificação da superfície rochosa, com determinação de sua profundidade, classificação, espessura, existência de falhas e do estado de decomposição e alteração.

A necessidade de satisfação de todos estes objetivos depende das características específicas de cada obra, e do maior ou menor conhecimento e experiência sobre o solo local.

3.1.2. Classificação dos Métodos de Investigação Geotécnica

As investigações geotécnicas de uma maneira geral compreendem os ensaios de campo, com pesquisa do subsolo por diversos processos e, os ensaios desenvolvidos em laboratório sobre amostras deformadas ou indeformadas para caracterização, resistência, deformabilidade, colapsividade, permeabilidade e expansibilidade dos solos, sendo classificados em:

a) Ensaio Direto

São aqueles baseados em procedimentos que possibilitam a extração de amostras deformadas ou indeformadas das camadas ao longo da profundidade, podendo utilizar processos manuais ou mecânicos.

b) Ensaaios Semi – Diretos

São os métodos que sem possibilitarem a extração de amostras, buscam a identificação de informações do solo através de correlações indiretas associadas ao processo executivo do ensaio.

c) Ensaaios Indiretos

São processos de determinação indireta de algumas características e propriedades do subsolo, através correlações geológicas e análises geofísicas geralmente pela medida da resistividade elétrica ou da velocidade de propagação de ondas no terreno.

3.1.3. Principais Métodos de Investigação Geotécnica Utilizados em Belém

Para fundamentação satisfatória de um projeto de fundação, os ensaios diretos são os mais utilizados, pois são os que melhor atendem aos objetivos de uma investigação geotécnica, podendo apresentar processo manual por trados, poços, ou trincheiras e, processo mecânico como as sondagens a percussão com circulação d'água, as sondagens rotativas e as mistas. Em Belém, os principais métodos empregados são:

a) Trados Manuais

Escavações diretas através da perfuração por giro manual de uma broca tipo helicoidal, cavadeira ou torcido, ligada a uma haste de ferro ou aço de $\frac{1}{2}$ " ou $\frac{3}{4}$ " de diâmetro, geralmente até 3,0 metros de profundidade ou, até atingir solo impenetrável ou o nível do lençol freático, com retirada de amostras deformadas, utilizado em reconhecimento rápido e de baixo custo, para análise de camadas superficiais. Seu processo é definido pela NBR-9603 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Em Belém este tipo de ensaio é utilizado em pequenas investigações como os de obras viárias e, na escavação inicial, geralmente até o nível d'água nas sondagens a percussão com circulação d'água.

b) Poços

São processos de escavação manual direta com o uso de pás, picaretas, balde e sarilho, que permite a identificação precisa das camadas, com obtenção de amostras indeformadas, limitada ao nível do lençol freático ou a estabilidade do solo. Junto com as trincheiras, estes ensaios são padronizados pela NBR-9604 da ABNT. Em Belém este tipo de investigação é bastante comum em pequenas obras, embora sem obedecer às prescrições normativas.

c) Sondagem a Percussão com Circulação D'Água – Método SPT

São sondagens de reconhecimento direto, normalizados através da NBR-6484 da ABNT, que consistem basicamente em perfurar o terreno ao longo da profundidade Figura 3.1, inicialmente com um trado manual (geralmente até o nível d'água) e depois por lavagem com o uso de um trépano em bisel cortante auxiliado por circulação d'água, por um sistema motor-bomba, intercalando-se a cada metro perfurado, a cravação de 45 cm (dividido em três intervalos de 15cm) de um amostrador padrão, sob a ação da percussão de um martelo de peso padrão de 65 kg, caindo livremente de uma altura de 75 cm, e registrando-se o número de golpes necessários à penetração de cada intervalo do amostrador, o qual têm corpo bi-partido, onde ficam contidas as amostras deformadas retiradas a cada metro, para classificação e caracterização das camadas. Este ensaio, em função das medidas do amostrador e processo de execução da amostragem acima descrito, inicialmente padronizado nos Estados Unidos, tem a denominação de *Standard Penetration Test – SPT*, e pode ser complementado com medidas de torque, com o uso de um torquímetro, disco centralizador e pino adaptador, chamado *SPT-T*. O número de golpes medidos a cada metro, necessário para cravação dos dois

últimos intervalos de 15cm do amostrador padrão, é definido por *Índice de Resistência a Penetração (N)*, que fornece uma boa indicação preliminar da consistência dos solos argilosos e do grau de compactidade dos solos arenosos, além de outras correlações geotécnicas, bastante utilizadas na engenharia de fundações. As condições de paralisação do ensaio se dão à percussão, quando em 3 m sucessivos se obtiver índices de penetração superiores a 45golpes/15cm; ou em 4m sucessivos, entre 45/15 e 45/30 ou, em 5m sucessivos entre 45/30 e 45/45, e ainda, após 5 golpes com penetração nula, sendo no caso desta ocorrência em profundidades inferiores a 8,0 metros, se deslocar 2,0m o furo, até no máximo quatro vezes.

O SPT é o tipo de ensaio que fundamenta praticamente todas as definições de projetos de fundações na cidade de Belém, o que comprova a importância que seus resultados representam para parametrização de índices geotécnicos locais.

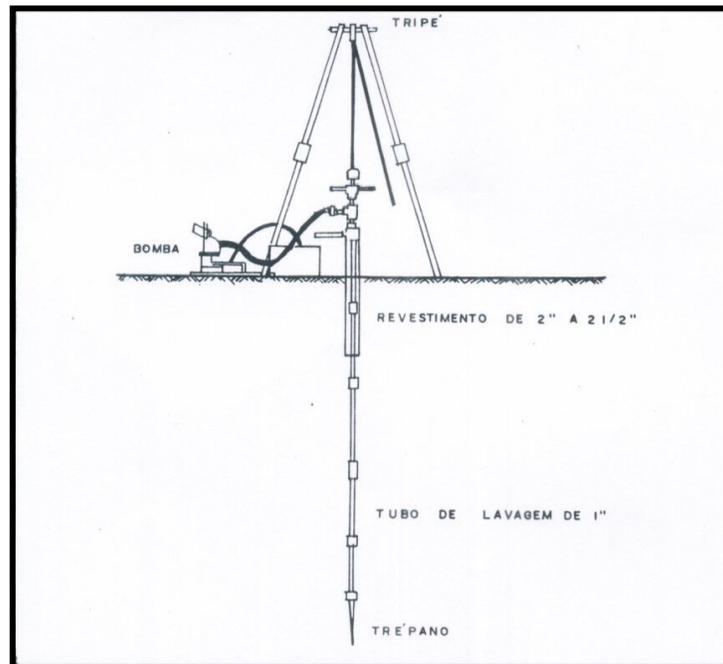


Figura 3.1
Ensaio a Percussão com Circulação D'água
Fonte: OLIVEIRA FILHO (1981)

d) Ensaio de Palheta / "Vane – Test"

Procedimento utilizado para determinação da resistência não drenada dos solos S_u , (principalmente para solos moles), realizado através da correlação com o torque necessário para submeter em movimento de rotação constante padrão de $6^\circ/\text{min}$, uma palheta constituída de quatro abas dispostas em cruz, com diâmetro total igual à metade da altura (Figura 3.2). Este ensaio é padronizado pela NBR-1095 da ABNT, que adota as dimensões de 130 mm de altura e 65 mm de largura para a palheta, podendo ser processado nos furos de sondagem ou por perfuração própria, devendo o tempo de espera entre a cravação e a rotação, se manter em 1min, sendo o torque geralmente medido através de um dispositivo mecânico instalado na superfície do terreno.

Em Belém, além de estudos acadêmicos, este ensaio só foi utilizado com maior expressão, para fundamentar serviços de aterro em solos compressíveis como os das obras da macro-drenagem da bacia do Una.

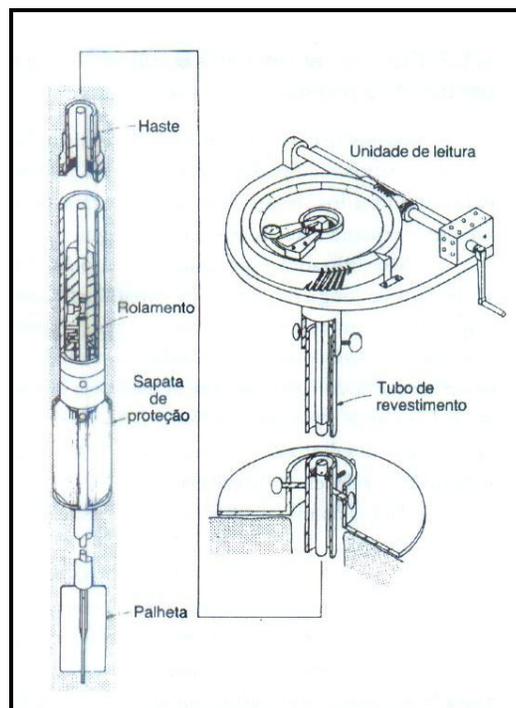


Figura 3.2
Ensaio de Palheta – Detalhe da Palheta
Fonte: ORTIGÃO, 1995

3.2. O ENSAIO S.P.T. E SUAS CORRELAÇÕES GEOTÉCNICAS

É inquestionável em quase todo o mundo, a maior utilização do ensaio SPT, em relação a todos os demais. A preferência por esta metodologia, se justifica entre outras razões, por se tratar de um ensaio direto de custo relativamente baixo, que permite além da coleta de amostras, classificação das camadas, identificação do nível do lençol freático, alcance de grandes profundidades, equipamentos de fácil manuseio e uso em locais de difícil acesso, a obtenção do índice de resistência à penetração N_{SPT} , o qual já tem estudado na comunidade científica, correlações com diversas características geotécnicas, que variam de acordo com as padronizações do ensaio adotadas em cada local e com a eficiência do equipamento utilizado. A eficiência do SPT brasileiro, quando executado sob os rigores da NBR-6484, é em média de 72 % (DÉCOURT *apud* HACHICH et al., 1996, p.123), sendo a 60% a referência internacional mais usada, podendo se converter N_{72} para N_{60} multiplicando-se por 1,2 (72/60).

Ainda que as correlações baseadas no SPT não possam ser consideradas de grande precisão, pois sofrem variação em função da metodologia e eficiência do ensaio, além de condicionantes como da profundidade e pressão da camada; envelhecimento da amostra; forma da fundação entre outros, permitem estabelecer uma indicação preliminar bastante útil nos estudos geotécnicos. Nas Tabelas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 que se seguem, são apresentadas correlações do SPT usadas no Brasil, como as de compacidade das areias e consistência das argilas que foram estabelecidas por TERZAGUI-PECK e adotadas pela Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica ABMSEG, além de outras mais recentes e ainda, a relação direta entre o SPT e a taxa admissível do terreno, proposta por Oliveira Filho (1981) para os solos de Belém.

Tabela 3.1 – Compacidade e Ângulo de Atrito das Areias

Areia	S.P.T.	Areia Fina	Areia Fina	Areia Média e Grossa	Areia Média e Grossa	Pressão Admissível
		Grão esférico	Grão angular	Grão esférico	Grão angular	kgf/cm ²
Fofa	0 – 4	26	28	29	35	0,0 – 1.0
P. Comp.	4 – 10	28	30	31	35	1.0 – 1.5
Média	10 – 30	30	34	33	38	1.5 – 3.0
Compacta	30 – 50	33	36	38	40	3.0 – 5.0
M. Comp.	> 50	36	39	40	44	> 5.0

Fonte: OLIVEIRA FILHO (1981)

Tabela 3.2 – Consistência e Coesão das Argilas

ARGILA	S.P.T.	Coesão kgf/cm²	Compressão Simples kgf/cm²	Tensão Admissível Sapata Quadrada kgf/cm²	Tensão Admissível Sapata Contínua kgf/cm²
Muito mole	0 – 2	0,00 – 0,12	0,00 – 0,25	0,00 – 0,30	0,00 – 0,22
Mole	2 – 4	0,13 – 0,25	0,25 – 0,50	0,30 – 0,60	0,22 – 0,45
Média	4 – 8	0,26 – 0,50	0,50 – 1,00	0,60 – 1,20	0,45 – 0,90
Rija	8 – 15	0,51 – 1,00	1,00 – 2,00	1,20 – 2,40	0,90 – 1,80
Muito Rija	15 – 30	1,01 – 2,00	2,00 – 4,00	2,40 – 4,80	1,80 – 3,60
Dura	> 30	2,00	4,00	4,80	3,60

Fonte: OLIVEIRA FILHO (1981)

Tabela 3.3 – Módulo de Elasticidade (E) função do SPT N_{72}
Sapatas quadradas rígidas $S/B = 1\%$

Tipo de Solo	E (MN/m²)
Areias	3,5 N_{72}
Solos intermediários	3.0 N_{72}
Argilas saturadas	2.5 N_{72}

Fonte: DÉCOURT *apud* HACHICH et al. (1996)

Tabela 3.4 – Outros Índices correlacionados c/ SPT

Índice	Correlação SPT
Resistência não drenada de argilas saturadas	$C_u = 12.5 N$ (kN/m ²)
Tensão de ruptura de fundação direta em areias	$q_p = 115 N_{72}$ (kN/m ²)
Pressão de pré adensamento das argilas	$\sigma'_p = 33.33 N_{72}$ (kN/m ²)

Fonte: DÉCOURT *apud* HACHICH et al. (1996)

Tabela 3.5 – Taxa admissível usual em solos de Belém função do SPT

Camadas de Solo	Taxa Admissível kgf/cm²
Camadas acima do nível d'água	$N / 5$
Camadas abaixo do nível d'água	$N / 10$

Fonte: OLIVEIRA FILHO (1981)

3.3. CARACTERÍSTICAS DO SOLO DA CIDADE DE BELÉM

3.3.1. Formação do Solo de Belém – Generalidades

Situada no braço sul do delta do grande Rio Amazonas, mais especificamente no encontro do Rio Guamá com a Baía do Guajará, o solo da cidade de Belém, apresenta as condições geológicas peculiares da bacia amazônica, oriundo da era cenozóica, períodos terciário e quaternário e de formação aluvionar praticamente até camadas situadas a profundidades de 130 metros. Segundo Costa (2001), a geologia da Região Metropolitana de Belém, pode ser dividida em três unidades litológicas, discriminadas do topo para a base em: Sedimentos Recentes; Sedimentos Barreiras/Pós Barreiras e Formação Pirabas, conforme melhor especificado na Tabela 3.6, elaborada com base em informações de trabalhos de campo, poços tubulares profundos, investigações geotécnicas de simples reconhecimento e literatura fundamentada em Sá (1969), Pinheiro (1987), Góes *et al.* (1990), Costa *et al.* (1991), Farias *et al.* (1992), Pará & IBGE (1995), *apud* Costa (2001) e executada sem considerar essencialmente os aspectos estratigráficos do perfil geológico.

Estudos geotécnicos realizados para fundamentação de projetos de fundação, através de resultados de centenas de sondagens SPT, indicam que a estratigrafia da área está intimamente relacionada com a cota do terreno em relação ao nível do mar. Oliveira Filho (1981) e Alencar *et al.* (2002), dividem o subsolo da cidade, na sua configuração superficial, em dois horizontes principais.

As regiões de baixadas, adjacentes ao Rio Guamá, Baía do Guajará e ainda, às margens dos canais que cortam boa parte do município, formadas por várzeas ou pântanos, situadas na cota até 3,0 m acima do nível do mar e abrangendo aproximadamente 40% da área urbana, compreendem sedimentos

mais recentes, do período quaternário, com perfil errático, composto de argilas muito moles de coloração cinza, com matéria orgânica em decomposição, que se encontram em processo de consolidação, geralmente com espessuras de 6 a 18 metros, mas que alcançam em alguns casos camadas de até 60 metros, apresentam o nível d'água logo na superfície, sendo altamente compressíveis e inadequadas para sustentação de fundações, conforme observa-se na Figura 3.3.a. Subjacente à argila mole, em vários locais se dá a ocorrência de uma camada resistente de argilas muito rijas a duras de coloração oscilando em tons de amarelo, vermelho e cinza claro, ou de areias siltosas medianamente compactas a compactas de cor branca, rósea, amarela ou vermelha e branca, em grande parte, com 1 a 4 m de espessura. Abaixo dessa camada resistente, é comum se encontrar uma argila mole a média de coloração cinza escura ou em tons de cinza claro, vermelho ou amarelo, com espessura média de 4 a 8 metros, semelhante à camada superior e, por sob essa camada, se intercalam camadas resistentes de areia medianamente compacta a compacta e argilas rijas a duras, até os limites das sondagens voltadas para a engenharia de fundações.

As regiões de maior altitude, situadas em cotas de 8 a 20 metros acima do nível do mar, têm formação, também provenientes do período quaternário, de perfil geralmente simples, nível do lençol freático em torno dos 4 a 6 metros de profundidade e estratigrafia típica do subsolo se apresentando com camadas superficiais compostas de areia siltosa ou silte arenoso fofo a pouco compacto, de 2 a 8 metros de espessura e coloração amarelada, sobrejacentes a camadas de areias medianamente compacta a compacta, ou de argilas lateríticas de consistência muito rija a dura, com freqüente ocorrência entre elas de concreções superficiais em veios de seixos e pedras e matacões de arenito ferruginoso, decorrentes de precipitação de óxido hidratado de ferro, conforme observa-se na Figura 3.3-b.

A Figura 3.4 apresenta um perfil esquemático da geologia da Região Metropolitana de Belém, onde são distinguidas as formações do subsolo nas áreas de várzea e de terra firme.



Figura 3.3-a
Aspecto da formação superficial do solo de Belém nas áreas de baixada
Trecho da Av. Antonio Baena
Fonte: Macro drenagem da bacia do Una (2001)

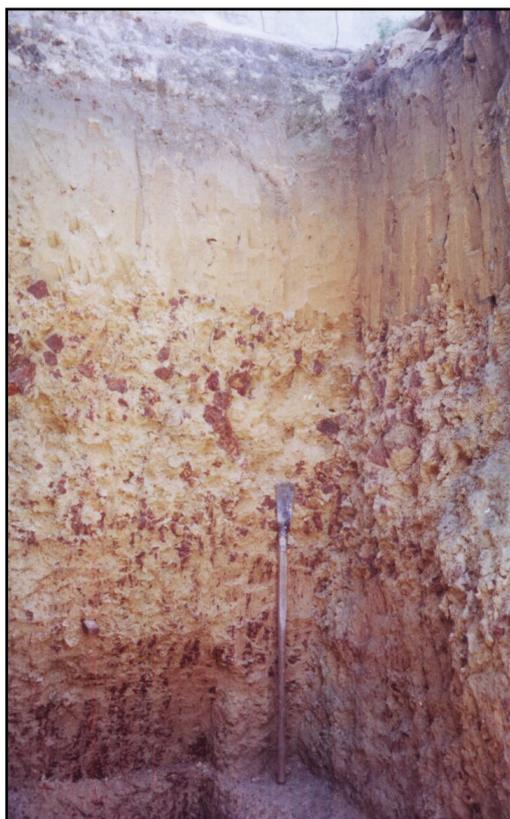


Figura 3.3-b
Aspecto da formação superficial do solo de Belém nas cotas altas
Fundação do Ed. Rio Mississippi – Trav. Curuzu (2002)

Tabela 3.6 – Coluna Estratigráfica da Região Metropolitana de Belém (Pt= profundidade do topo, E= espessura do sedimento)

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE	PROFUNDIDADE DE	DESCRIÇÃO RESUMIDA
Ceno Zóico	Quaternário	Holoceno	Sedimentos Recentes	Pt = 0 m E = 0 a 70 m	Depósito de argilas, argilas siltosas e argilas arenosas, orgânicas ou não, associadas aos principais cursos d'água, as quais são intercaladas em vários locais por níveis arenosos na forma de camadas ou lentes. Esses materiais apresentam profundidades que variam, em geral, de 2 a 70m, a depender do curso d'água vinculado ao depósito. Os materiais finos apresentam altos teores de umidade e elevado índice de vazios. São materiais que têm baixa resistência ao cisalhamento e alta compressibilidade
Ceno Zóico	Quaternário	Pleistoceno		E = 0 a 4 m	HORIZONTE DE "SOLO" Fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa: ocorre em mais de 80% da área de ocorrência do horizonte, tem espessura de até 4m, incoscos de cor cinza amarelado e amarelo, por vezes bioturbadas e apresentam grãos milimétricos e centimétricos, dispersos de concreções lateríticas, quartzo leitoso e ágata, na forma de seixos. Mineralógica é composta por quartzo (grãos), caulinita (argila) e Al-goethita (amarela) e hematita (concreções). Fácies Arenosa Branca: possui mais de 95% de areia branca com espessura de até 2m, fruto da podzolização de fácies silto-arenosa e argilo-arenosa. São conhecidos na região como covões.
Ceno Zóico	Quaternário	Holoceno		E = 0 a 1 m	Linha de Pedras ou de Seixos: intermitente, formada por agregados de arenito ferruginoso e concreções lateríticas ou Superfície Erosiva.
Ceno Zóico	Quaternário	Pleistoceno	Sedimentos Pós Barreiras / Barreiras Pt = 0 a 70 m E = 80 a 135m	E = 0,5 a 5,0 m	HORIZONTE FERRUGINOSO Fácies Concrecionário: possui matriz areno argilosa, envolvendo concreções lateríticas irregulares distribuídas aleatoriamente, coloração amarelada ou avermelhada, a espessura varia de alguns cm até 5m Fácies Areno Argilosa: é constituída por areias argilosas maciças de coloração avermelhada. Ocorrem ao mesmo nível topográfico da fácies Concrecionário, resultando de uma variação lateral desta fácies. Fácies Arenito Ferruginoso: ocorre em geral logo abaixo da fácies Concrecionário, fazendo contato inferior com o Horizonte Argiloso, é formada por matriz areno-argilosa e areno-siltosa envolvendo blocos de arenito ferruginoso de dimensões centimétricas a milimétricas de cor preta, constituído de grãos em geral areia, podendo chegar até pedregulhos de quartzo cimentados por hematita. Tem ocorrência irregular e restrita, sua espessura pode chegar a 2,5m. São conhecidos na RMB como pedra preta ou grés do Pará. Fácies Arenoso Ferruginizado: é constituído por seqüências essencialmente arenosas (mais de 80% de areia), ferruginizadas, de coloração amarelada e avermelhada. Ocorre também na base de Concrecionário, em alguns locais ocorrem em contato direto com o Horizonte de Solo, separados por linhas de Seixos. Mineralogicamente este Horizonte é constituído por quartzo, caulinita, hematita, e goethita em diferentes proporções, a depender da fácies avaliada.
Ceno Zóico	Quaternário	Pleistoceno	Sedimentos Pós Barreiras / Barreiras Pt = 0 a 70 m E = 80 a 135m	E = 1 a 8 m	HORIZONTE ARGILOSO - Ocorre logo abaixo do Horizonte Ferruginoso; é formado por uma espessa camada de argila que pode chegar até a 8 m de espessura, ocorrendo em três fácies: Fácies Argila Mosqueada: forma seqüências essencialmente argilosas (caulinita) tendo algum Quartzo formando lentes centimétricas de areia, além de hematita e goethita as quais são responsáveis pela formação de manchas irregulares com tons variados de vermelho e amarelo. No contato com a fácies Arenito Ferruginoso apresenta-se endurecido pela presença de hematita. Fácies Argilitos: Laminado, formada por argilas (caulinita) finamente laminadas de coloração branca com manchas avermelhadas. É formada mineralogicamente por caulinita e pouco quartzo, tendo goethita e hematita como acessórios os quais forma manchas insipientes. Ocorre também logo abaixo do Horizonte Ferruginoso. Fácies Argilito Maciço: é formada por argilas brancas (caulinita), compostas por caulinita e algum quartzo. Ocorrem logo abaixo da fácies Argila Mosqueada e apresenta espessura superior a 1 m.
	Terciário	Mioceno	S.Pós Barre./ Barreiras		Intercalações sedimentos siliciclásticos representados por argilitos, arenitos, comumente ferruginizados, com estratificações.
	Terciário	Mioceno/ Oligoceno	Formação Pirabas	Pt = 80 a 135m E > 370 m	Calcários estratificados ou não, margas e folhelhos

Fonte: COSTA (2001)

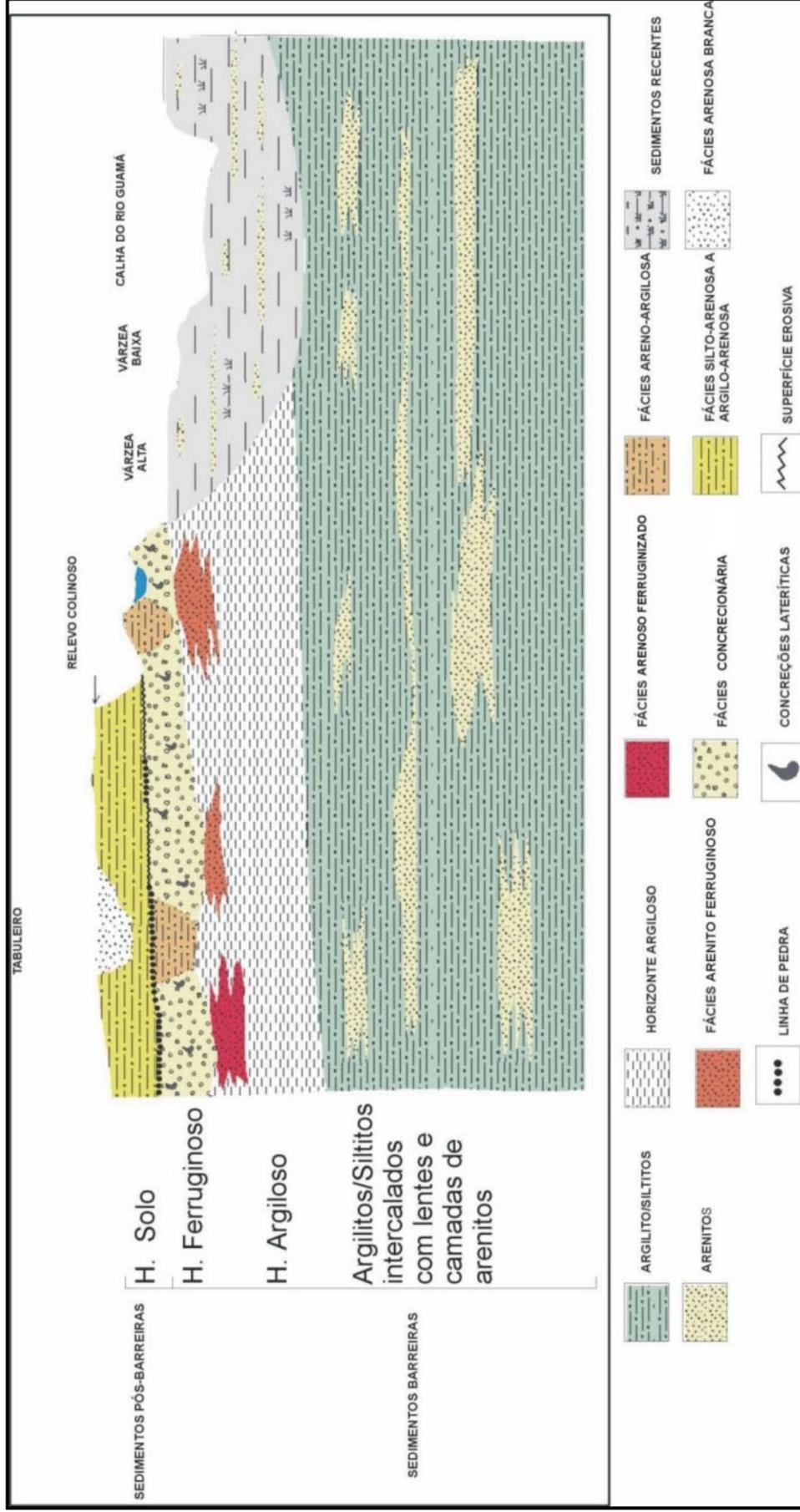


Figura 3.4 – Perfil Esquemático da Geologia da Região Metropolitana de Belém

Fonte: COSTA T., GANDOLFI N. e COSTA J., 2002.

3.3.2. Caracterização Geotécnica de Algumas Camadas do Solo de Belém

Diante das diferenças na composição mineralógica e geoquímica e, dos períodos e épocas diferentes da formação do solo de Belém, as características, e propriedades geotécnicas de suas camadas também apresentam peculiaridades distintas que há muito vêm sendo estudadas em razão da importância que representam na fundamentação de projetos na engenharia de fundações.

Desta forma, são apresentados a seguir, os principais parâmetros geotécnicos e características, das três argilas de maior ocorrência no subsolo da cidade, segundo Alencar Jr. *et al* (2002) e, do silte arenoso encontrado na faixa superficial das áreas de cotas altas de Belém, segundo Farias *et al* (2001) :

3.3.2.1. Argila Orgânica Muito Mole Encontrada na Faixa Superficial das Áreas de “Baixada” (ALENCAR JR.*et al* 2002).

a) Ensaios de Caracterização

Material muito comum nas áreas de baixada da cidade, com composição mineralógica constituída de ilita, esmectita, caolinita e matéria orgânica decomposta. A Figura 3.5 apresenta as variações granulométricas em curvas médias representativas às profundidades de 2, 8 e 18 metros.

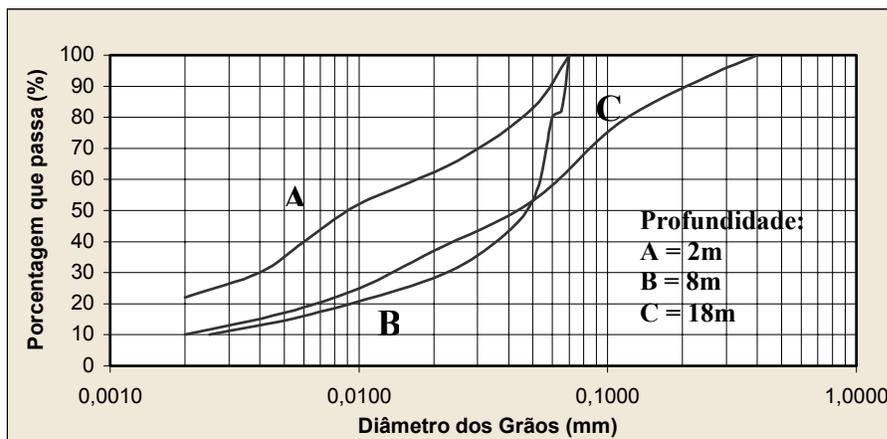


Figura 3.5
Curvas granulométricas para três profundidades
Fonte: ALENCAR Jr. *et al.* (2002)

A Figura 3.6 mostra os valores de limites de liquidez (LL), limites de plasticidade (LP) e, teor de umidade natural (h), onde se vê claramente que a exceção da faixa mais superficial, em todas as demais, a umidade natural é maior que o limite de liquidez, indicando a baixa resistência ao cisalhamento e a elevada compressibilidade do material. Na Figura 3.7 são apresentados os índices de plasticidade no gráfico de plasticidade de Casagrande.

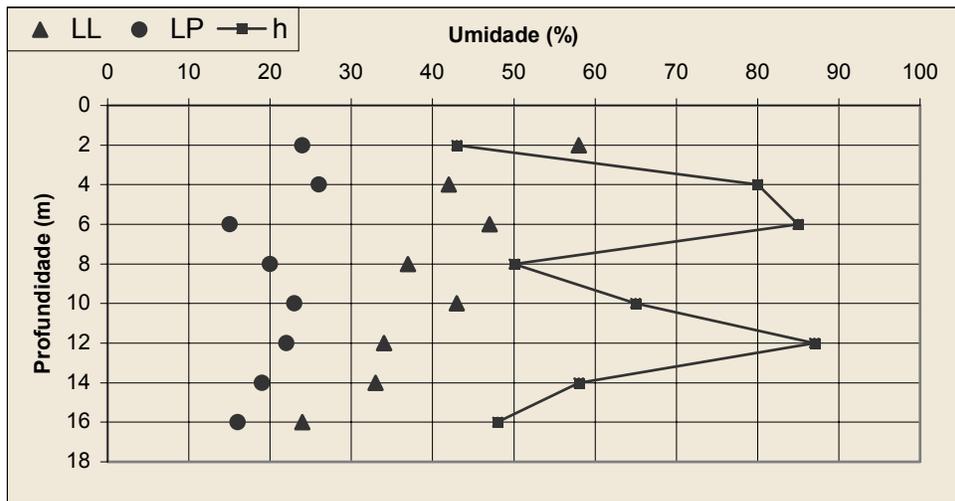


Figura 3.6
Limites de liquidez e plasticidade ao longo da profundidade
 Fonte: ALENCAR Jr. et al. (2002)

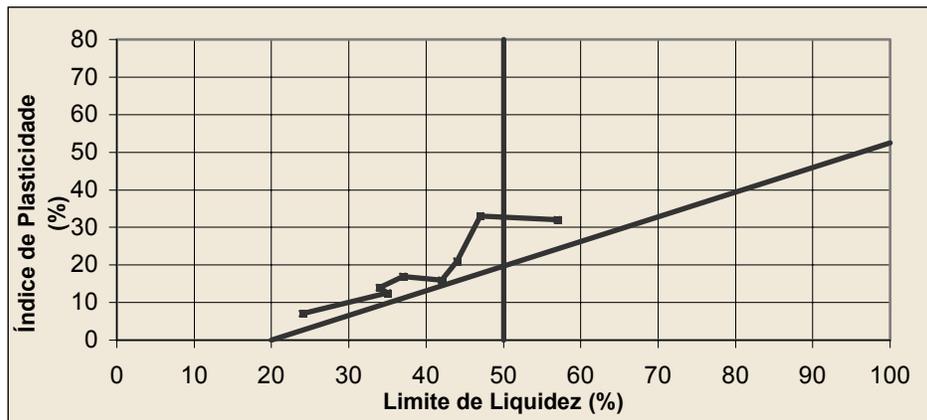


Figura 3.7
Carta de plasticidade de Casagrande
 Fonte: ALENCAR Jr. et al. (2002)

b) Parâmetros de Resistência

As centenas de ensaios SPT já executados indicam valores N_{SPT} de 0 a 1 e em dezenas de ensaios de palheta realizados no material para fundação de projetos de estabilidade de aterros e cortes nas obras da macrodrenagem da bacia do Una e da alça viária, desenvolvidas na região de Belém, indicaram grande oscilação de valores, ocorrendo na faixa de 10 a 30 kPa, sem tendência clara de variação em função da profundidade.

c) Parâmetros de Consolidação

Os ensaios de adensamento realizados com estágios de carregamento de 15, 30, 60, 120 e 240 kPa, indicaram significativa compressão secundária, o que leva à não recomendação do cálculo de recalques por métodos convencionais, independente das condições das amostras que em alguns casos apresentavam na observação visual, além de pequenos orifícios decorrentes da movimentação de seres vivos como minhocas, a existência de matéria orgânica ainda não totalmente decomposta. Os resultados obtidos alcançaram valores médios de:

- Peso Específico: 15 a 16 kN/m³
- Índice de Vazios: 1,7 a 2,4
- Índice de recompressão: 0,09 a 0,15
- Índice de compressão: 0,8 a 1,2
- OCR: 1,00 a 1,05
- Coeficiente de adensamento: $5,5 \times 10^{-4}$ a $8,5 \times 10^{-4}$ cm²/s

3.3.2.2. Argila Variegada Mole a Média, Subjacente à Primeira Camada Resistente, (ALENCAR JR. *et al* 2002).

a) Caracterização Geotécnica

Argila silto arenosa inorgânica de alta plasticidade, com coloração avermelhada e com concreções lateríticas, mineralogicamente constituída principalmente de caolinita na fração argilosa e de quartzo na fração siltosa. A caracterização deste material foi realizada em amostras retiradas de camadas situadas nas profundidades de 11 e 13m, subjacente à camada de areia fina compacta e apresentaram os valores médios abaixo discriminados:

- Limite de Liquidez (LL) = 67,63 %
- Limite de Plasticidade (LP) = 24,90 %
- Índice de Plasticidade (IP) = 42,73 %
- Teor de Argila = 81 %
- Teor de Silte = 16,5 %
- Teor de Areia = 2,5 %

b) Parâmetros de Resistência

O material apresentou nas amostras selecionadas, N_{SPT} com valores médios de 4 a 5.

c) Parâmetros de Consolidação

Os resultados médios obtidos em sete ensaios edométricos, sendo três rápidos e quatro convencionais foram:

- Peso Específico: 17,5 a 18,7 kN/m³
- Índice de Vazios: 0,91 a 1,19
- Índice de recompressão: 0,02 a 0,04
- Índice de compressão (indeforado): 0,39 a 0,67
- OCR: 3,1 a 6,1 (provavelmente devido a estruturação laterizada do material, que se quebra após a pressão de pré-adensamento)
- Coeficiente de adensamento: $4,4 \times 10^{-4}$ a $1,17 \times 10^{-3}$ cm²/s

3.3.2.3. Argila Mole a Média, Cinza Escura, Subjacente à Camada Primeira Resistente, (SARÉ *et al* 2001 e ALENCAR JR.*et al* 2002).

a) Caracterização Geotécnica

Argila siltosa inorgânica de alta plasticidade, de consistência mole a média, mineralogicamente constituída de caolinita (maior ocorrência) e de illita, na composição do material argilo-mineral, com curva granulométrica conforme Figura 3.8 e ensaios de caracterização que apresentaram os seguintes valores médios:

- Limite de Liquidez (LL) = 59,90 %
- Limite de Plasticidade (LP) = 32,70 %
- Índice de Plasticidade (IP) = 27,30 %
- Teor de Argila = 60,86 %
- Teor de Silte = 39,14%

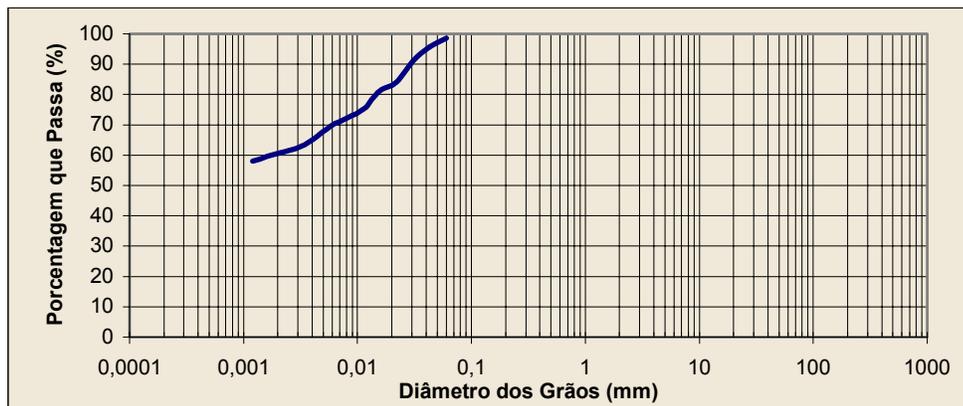


Figura 3.8
Curva granulométrica da argila mole a média cinza
Fonte: ALENCAR Jr. et al. (2002)

b) Parâmetros de Resistência

O material apresentou nos ensaios a percussão com circulação d'água realizados, N_{SPT} com valores médios de 4 a 6. Nos ensaios de palheta foram obtidos valores de S_u variando de 23 a 51 KPa e conforme o método de SHANSEP *apud* ALENCAR Jr. *et al.* (2002), alcançou valores para a razão de sobre-adensamento (OCR), variando de 1,0 a 2,0, evidenciando a condição levemente sobre-

adensada da argila. No ensaio SPT-T, realizado similarmente ao Vane Test, encontrou-se valores de C_u da ordem de 14 kPa e índice de torque próximo de 0,5 kgf.m / N_{SPT} .

c) Parâmetros de Consolidação

Foram realizados seis ensaios de adensamento convencionais com estágios de carregamento de 25, 50, 100, 200 e 400 kPa e descarregamentos de 200, 100 e 50 kPa, com curvas de adensamento mostradas na Figura 3.9, e resultados que alcançaram segundo Saré *et al* (2001), valores médios de:

- Peso Específico: 18,5 a 18,6 kN/m³
- Índice de Vazios: 0,89 a 0,94
- Índice de recompressão: 0,035 a 0,083
- Índice de compressão virgem: 0,140 a 0,285
- Índice de descompressão: 0,007 a 0,048
- OCR: 1,29 a 1,69
- Coeficiente de adensamento: $3,8 \times 10^{-4}$ a $5,0 \times 10^{-4}$ cm²/s

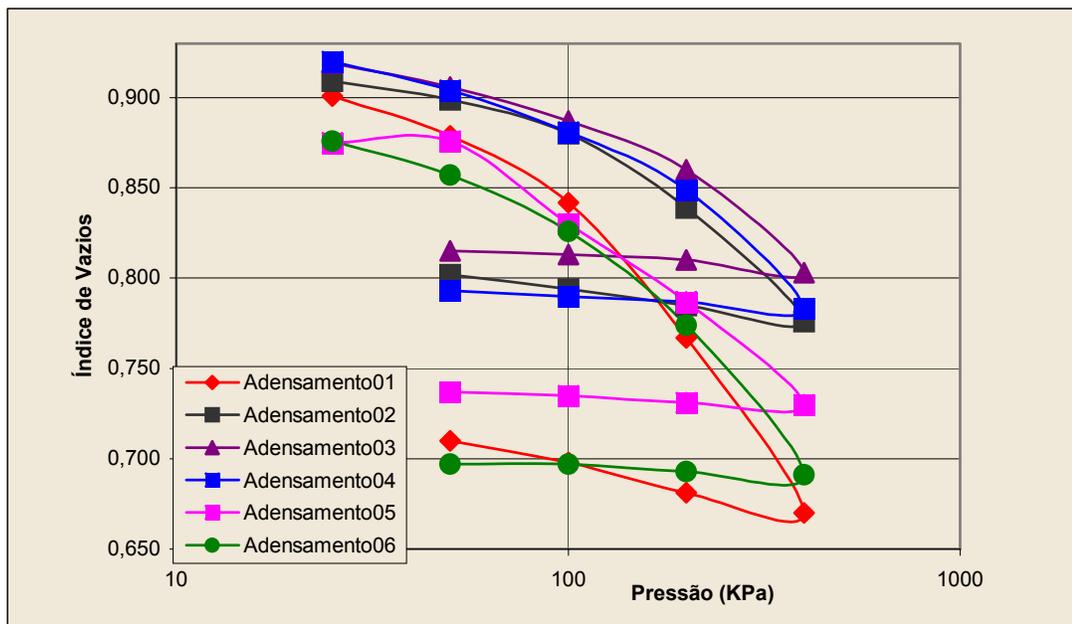


Figura 3.9
Curvas de adensamento da argila mole a média cinza
Fonte: SARÉ. et al. (2001)

3.3.2.4. Silte Arenoso Variegado Fofa a Pouco Compacto, Encontrado na Faixa Superficial das Áreas de Cotas Altas, (FARIAS *et al* 2001).

a) Caracterização Geotécnica

Silte areno argiloso fofo a pouco compacto, com coloração amarelada, mineralogicamente constituído principalmente de quartzo na fração areno-siltosa. A caracterização deste material foi realizada em amostras retiradas de camadas situadas nas profundidades de 0 a 6 m, sobrejacente à camada de areia fina compacta em área de terreno de cota alta da cidade, mais especificamente na Av. Gov. José Malcher, na altura da Trav. Almirante Wandenkolk, e apresentaram os valores médios abaixo discriminados:

- Limite de Liquidez (LL) = 17,90 %
- Limite de Plasticidade (LP) = 12,20 %
- Índice de Plasticidade (IP) = 5,70 %
- Teor de Argila = 5,26 %
- Teor de Silte = 63,16 %
- Teor de Areia = 31,58 %

d) Parâmetros de Resistência

O material apresentou nas amostras selecionadas, N_{SPT} com valores médios de 1 a 6.

e) Parâmetros de Colapsibilidade

Foram realizados ensaios de adensamento com estágios de carregamento de 25; 50; 100; 200; e 400 kPa, divididos em três fases distintas, na intenção de observar o comportamento do solo quanto a sua colapsibilidade quando inundado. Na 1ª fase as amostras eram carregadas com 25 kPa até estabilizarem e depois eram inundadas e carregados os demais estágios. Na 2ª fase os ensaios foram

realizados isoladamente em cada um dos estágios de tensão, primeiramente na umidade natural e depois com a amostra inundada. Na 3ª fase os ensaios foram realizados com duas prensas carregando simultaneamente amostras na umidade natural e amostras inundadas.

Os resultados médios obtidos nas três fases, e abaixo discriminados, indicam segundo critérios e dados da Tabela 3.7 que o solo em questão é do tipo colapsível:

- Peso Específico: 16,9 kN/m³
- Índice de Vazios Natural (e_n): 0,84
- Índice de Vazios no LL (e_L): 0,56
- Teor de Umidade Natural (W_n): 15,04%
- Grau de Saturação Natural (S_{rn}): 48,08%
- Coeficiente de Colapso Estrutural (I): >> 2%

Tabela 3.7 – Critérios de Identificação de Solos Colapsíveis
Coeficiente de Subsistência (K)

Autor	Fórmula	Solo Colapsível se:	Resultado do Solo de Belém analisado
Denisov (1951)	$K = e_L / e_n$	$0,5 < K < 0,75$	$K = 0,67$
Building Code (USSR) Feed (1966)	$K = \frac{e_n - e_L}{1 + e_n}$	$S_{rn} < 60\%$ $K > - 0,1$	$S_{rn} = 48,08\%$ $K = 0,15$
Gibbs and Bara (1967)	$K = e_n / e_L$	$K > 1$	$K = 1,49$

Fonte: VILAR *et al.* (1981), *apud* FARIAS, R.; CARDOSO, M. (2001)

CAPÍTULO – 04

4. FUNDAÇÕES MAIS PRATICADAS NA CIDADE DE BELÉM

4. FUNDAÇÕES MAIS PRATICADAS NA CIDADE DE BELÉM

4.1. CONCEITO

No contexto da Engenharia Civil, denomina-se fundação, a todo elemento estrutural, cuja função é receber as cargas de sustentação de uma edificação para transferi-las adequadamente ao solo. Geralmente as fundações recebem as cargas da estrutura através de pilares, todavia, podem também recebê-las de paredes estruturais. São elementos de vital importância para a estabilidade das edificações.

4.2. CLASSIFICAÇÃO GERAL

As fundações se classificam basicamente em:

4.2.1. Fundações Superficiais (rasas ou diretas)

As fundações superficiais, como o próprio nome diz, são aquelas localizadas em camadas próximas a superfície em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno, não ultrapasse a duas vezes a menor dimensão da fundação (NBR 6122/96). Geralmente trabalham transferindo cargas, da estrutura para o solo, apenas através da distribuição de pressões sob a superfície de sua base. Podem ser:

a) Contínuas

Quando uma das dimensões da base se estende em uma direção e recebem carregamentos distribuídos.

b) Isoladas

Quando as dimensões da base têm valores próximos entre si e trabalham com carregamentos pontuais.

Neste contexto, ambas, contínuas e isoladas, se subdividem em:

a) Rígidas

quando sua altura tem dimensão próxima às dimensões da base. Ex. alicerce corrido e blocos simples

b) semiflexíveis

nos casos em que sua altura é consideravelmente inferior às dimensões da base. Ex. sapata, radier e viga de fundação.

A definição de um projeto de fundação sobre fundações superficiais deve atender a uma adequada profundidade de assentamento, segurança contra ruptura e recalques admissíveis total ou diferenciais. Deve ainda avaliar a possibilidade de danos às estruturas vizinhas, além de avaliar o risco de erosão, degradação ou colapsabilidade do solo.

4.2.2. Fundações Profundas

As fundações profundas por sua vez são aquelas posicionadas em profundidade distante da superfície, superior ao dobro da menor dimensão de sua base e não inferior a 3,0 metros e trabalham transmitindo cargas da estrutura para o solo pela resistência de base ou de ponta; pelo atrito de suas paredes laterais com as camadas atravessadas ou por uma combinação das duas (NBR 6122/96). Nestas condições, são enquadradas todas as estacas e ainda de certa forma os tubulões.

As estacas podem ser classificadas sob vários critérios:

a) Quanto ao material

- Estacas de concreto pré-moldadas
 - em concreto armado
 - em concreto centrifugado
 - em concreto protendido

- Estacas de concreto moldadas no local
- Estacas de aço
- Estacas de madeira
- Estacas mistas

b) Quanto ao processo executivo

- Percussão

Processo executivo no qual as estacas pré-moldadas são introduzidas no terreno através de golpes de martelo de “gravidade” ou de “explosão” de vapor, de diesel ou ar comprimido, podendo ser precedida de escavação ou lavagem.

- Prensagem

Processo executivo no qual as estacas são introduzidas no terreno, através de pressão estática por macaco hidráulico.

- Escavadas (com ou sem injeção)

Estacas cujo processo executivo é efetuado por escavação mecânica do terreno, com uso ou não de lama betonítica com revestimento total ou parcial, perdido ou não, e posterior concretagem. Este processo foi inicialmente utilizado para estacas de reforço.

- Vibração

O processo de cravação por vibração foi desenvolvido na antiga União Soviética, para estacas metálicas, através de um martelo dotado de garras, com massa excêntrica que, girando rapidamente, transmite à estaca uma vibração de alta frequência, permitindo tanto a cravação como a remoção de estacas de escoramentos provisórios. Pelos problemas provocados no solo e em obras vizinhas, pela vibração, este processo tem seu uso bastante restrito.

- c) Quanto à utilização
 - Estacas de sustentação
 - Estacas de tração
 - Estacas de contenção
 - Estacas de reforço
 - Estacas de compactação

As fundações em tubulões são classificadas em função de seu processo executivo e dividem-se em:

- a) Quanto à escavação
 - Escavados a céu aberto
 - Escavados a ar comprimido
- b) Quanto ao revestimento
 - Não revestidos
 - Revestidos com camisa metálica
 - Revestidos com camisa de concreto

4.3. FUNCIONAMENTO DAS FUNDAÇÕES

Resistência ao Cisalhamento – Aspectos Gerais:

Uma propriedade mecânica das mais relevantes nos estudos geotécnicos é a resistência ao cisalhamento dos solos, que é definida pela resistência que o solo oferece ao deslocamento relativo entre as partículas sólidas e da qual depende a capacidade de suportar cargas e a de conservar estabilidade, (CAPUTO, 1988).

Desta maneira, é de suma importância a determinação da tensão máxima ao cisalhamento, para se avaliar a possibilidade de ruptura de um maciço terroso. Todavia, sua perfeita determinação se constitui em um dos mais complexos problemas da geotecnia e um dos principais objetivos da mecânica dos solos.

A rugosidade da superfície das partículas, bem como o seu grau de compactação, são alguns dos elementos que influenciam na resistência ao cisalhamento de uma massa de solo, através de efeitos de atrito e coesão.

Em geral, quando se aplica esforço de compressão sobre um maciço de terra, são geradas em seu interior, tensões de compressão e cisalhamento e, no caso de ocorrência de ruptura, é muito provável que esta se dê por cisalhamento, sendo assim justificada a grande importância da determinação de sua resistência limite.

Vários são os ensaios que buscam esta determinação, sendo os mais utilizados os de **Cisalhamento Direto; Compressão Simples; Compressão Triaxial e Ensaio de Palheta (Vane Test)**, além de outros ensaios especiais.

A resistência ao cisalhamento dos solos é avaliada através de parâmetros como o **ângulo de atrito interno (ϕ) e a coesão (C)**.

Nos materiais constituídos por grãos, o atrito gerado entre um maciço terroso e uma superfície de ruptura é um misto de escorregamento e rolagem, atuando em sentido contrário ao deslocamento e proporcional à força normal aplicada e ao ângulo de atrito interno do material.

De outra forma, a coesão é uma componente da resistência ao cisalhamento dos solos que independe da tensão normal aplicada, sendo característica dos solos de composição mais fina como as argilas e alguns siltes e diretamente proporcional a atração entre as partículas do material, podendo em alguns casos também resultar da presença de substância cimentante entre os grãos, como o óxido de ferro.

De uma maneira geral a resistência ao cisalhamento (τ), é definida através destes dois parâmetros, ângulo de atrito (ϕ) e coesão (c) e, pela tensão normal aplicada (σ), segundo a Equação de Coulomb, pela expressão: $\tau = C + \sigma \text{tg } \phi$. Pode-se dizer que a partir desta formulação são baseadas as teorias para dimensionamento tanto das fundações superficiais como das fundações profundas.

4.4. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento das fundações pode ser definido a partir de:

4.4.1. Formulações Teóricas

A determinação da capacidade de carga das fundações é determinada por meio de teorias desenvolvidas na mecânica dos solos, baseadas em características de compressibilidade e resistência ao cisalhamento, além de outros parâmetros dos solos, e ainda por análise de recalques (deformações). É primeiramente calculada a capacidade de carga de ruptura, que deve ser dividida por um fator de segurança estabelecido pela teoria utilizada, para se obter a capacidade de carga admissível para a fundação.

As formulações teóricas são abordadas em função da condição de trabalho da fundação e dentre as muitas existentes, a mais utilizada pelos projetistas na cidade de Belém é a:

Teoria Clássica da Mecânica dos Solos

Resistência de Base (q) $q = C N_c + \sigma' N_q + \gamma B/2 N_\gamma$ (Figura 4.1)

Sendo C= coesão do solo; N_c , N_q e N_γ fatores de capacidade de carga (ábaco de Terzagui – Figura 4.4); σ' tensão normal efetiva, γ peso específico do solo e B base da fundação. Fazendo-se a área da base $A_b > P / (q / FS)$, sendo P carga aplicada e FS fator de segurança (Tabela 4.1).

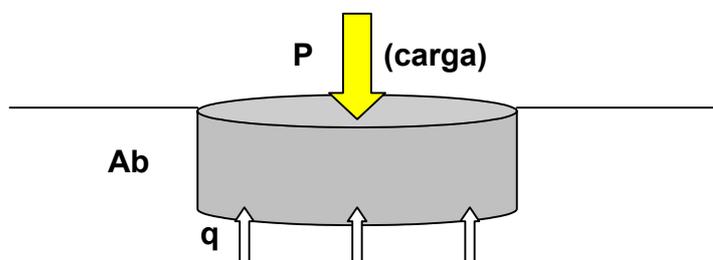


Figura 4.1 – Resistência de Base

Resistência de Base (q) e Atrito Lateral (qal) (Figura 4.2)

$$P = Ab \cdot q + Al \cdot qal, \text{ sendo } qal = C + k \sigma_v' \operatorname{tg} \phi$$

Sendo P= carga de trabalho; Ab= área da base; q= resistência de base; Al= área lateral; qal= resistência por atrito lateral; C= coesão do solo; k = coeficiente de empuxo do solo; σ_v' = pressão vertical efetiva e ϕ = ângulo de atrito interno do solo.

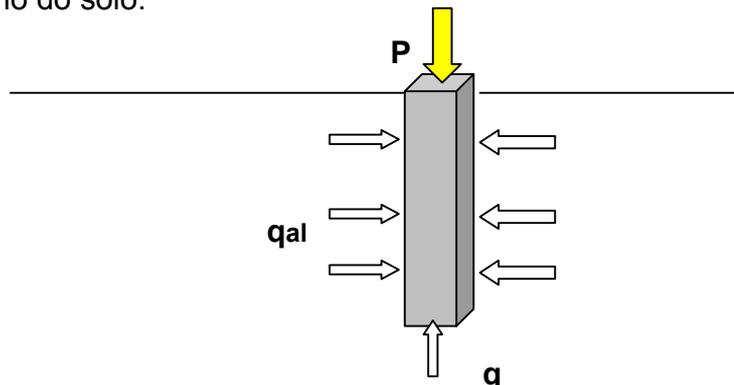


Figura 4.2 – Resistência de base e atrito lateral

Só Atrito Lateral (estacas flutuantes) $P = Al \cdot qal$ (Figura 4.3)

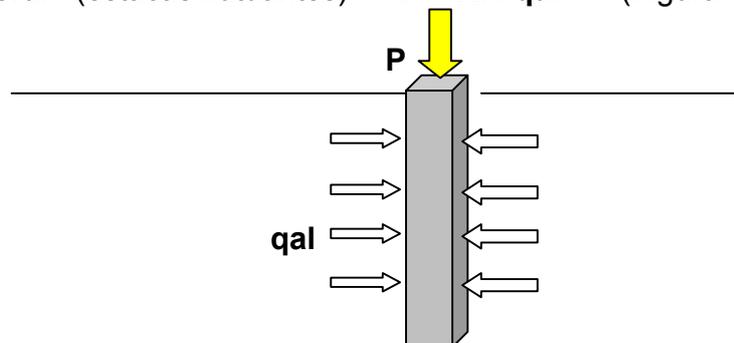


Figura 4.3 – Resistência só por atrito lateral

Tabela 4.1 – Fatores de Segurança globais mínimos

Condição	Fator de Segurança
Capacidade de carga de fundações superficiais	3,0
Capacidade de carga de estacas ou tubulões sem prova de carga	2,0
Capacidade de carga de estacas ou tubulões com prova de carga	1,6

Fonte: NBR 6122/96

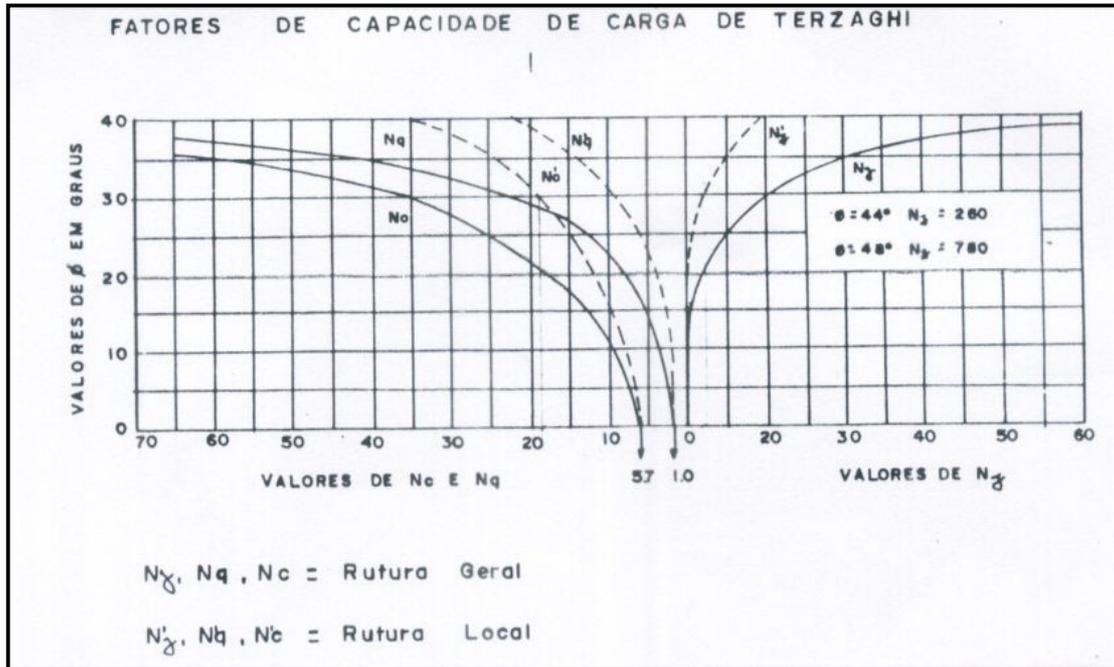


Figura 4.4
Ábaco de Terzagui – Fatores de Capacidade de Carga
 Fonte: OLIVEIRA F^o (1981)

4.4.2. Provas de Carga Sobre Placa ou Fundação

As provas de carga sobre placa são ensaios realizados em modelo reduzido de uma sapata, aplicando-se carregamentos diretamente sobre a placa, geralmente por intermédio de uma caixa de areia ou viga de reação, avaliando o comportamento tensão - deformação de um determinado solo, considerando-se a escala de proporção entre as dimensões da placa e da fundação a ser utilizada. É regulamentada pela NBR 6489, que adota uma placa rígida de aço com diâmetro de 80cm e os resultados avaliados por um gráfico tensão x recalque e sua avaliação é limitada somente ao comportamento da camada situada imediatamente abaixo da placa.

As provas de carga também podem ser executadas diretamente sobre as fundações existentes, geralmente em estacas até a carga de ruptura ou até uma carga de trabalho previamente definida, para análise do comportamento e eficiência da fundação, e confirmação de seu dimensionamento podendo ser baseado em cargas estáticas (mais usadas) ou dinâmicas.. Em Belém, este procedimento é adotado geralmente apenas em obras de maior porte, com fundações em estacas, realizadas muitas vezes com reação em caixotes de areia ou fogueiras de estacas, muito embora não freqüentemente.

4.4.3. Métodos Semi-empíricos

As propriedades e parâmetros dos solos são estimadas através de correlações empíricas e depois, utilizadas em teorias da mecânica dos solos, devidamente adaptadas para levar em consideração o empirismo dos dados. Dentre as formulações semi-empíricas existentes, a mais usada por profissionais de fundações na cidade de Belém é a:

Teoria de Aoki-Velloso (alguns autores a consideram empírica)

Método prático para dimensionamento de estacas, apresentado pelos engenheiros Nelson Aoki e Dirceu Velloso, durante o V Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, no qual, tanto a resistência de base (q) quanto a resistência de atrito lateral (q_{al}), são definidas em função da tensão de ponta do ensaio de penetração do cone (CPT) associado às estacas pelos coeficientes F_1 e F_2 ao atrito lateral pelo fator “ α ” e também adaptadas para os valores N do ensaio SPT através de um coeficiente (K_{av}), fornecidos nas Tabelas 4.2; 4.3 e; 4.4.

Em Belém, este método é bastante utilizado no dimensionamento de estacas, pela sua praticidade e facilidade de cálculo.

Tabela 4.2 – Coeficientes K_{av} e α – Aoki-Velloso

Tipo de Solo	K_{av} (kgf/cm ²)	α (%)
Areia	10,0	1,4
Areia siltosa	8,0	2,0
Areia silto-argilosa	7,0	2,4
Areia argilosa	6,0	3,0
Areia argilo-siltosa	5,0	2,8
Silte	4,0	3,0
Silte arenoso	5,5	2,2
Silte areno-argiloso	4,5	2,8
Silte argiloso	2,3	3,4
Silte argilo-arenoso	2,5	3,0
Argila	2,0	6,0
Argila arenosa	3,5	2,4
Argila areno-siltosa	3,0	2,8
Argila siltosa	2,2	4,0
Argila silto-arenosa	3,3	3,0

Fonte: HACHICH *et al.* (1996, p.274)

Tabela 4.3 – Fórmulas do método Aoki-Velloso

Resistência de Base (q)	$(q) = K_{av} N / F_1$
Resistência por Atrito Lateral (q_{al})	$(q_{al}) = \alpha K_{av} N / F_2$

Fonte: HACHICH *et al.* (1996, p.274)

Tabela 4.4 – Aoki-Velloso - Fatores F_1 e F_2

Tipo de Estacas	F_1	F_2
Franki	2,5	5,0
Pré-moldadas ou metálicas	1,75	3,5
Escavadas	3,5	7,0

Fonte: ALONSO (1983)

4.4.4. Métodos Empíricos

A capacidade de carga (pressão) admissível da camada de fundação é estimada diretamente, baseada apenas em dados como classificação e grau de compactidade ou consistência do solo, muito usada na concepção inicial de projeto, geralmente fornecido através de tabelas, como a Tabela 4.5. Em Belém, são muito utilizadas as relações da Tabela 3.5.

Tabela 4.5 - Pressões Básicas

Classe	Descrição	Valores (MPa)
1	Rocha Sã, maciça, sem laminação ou sinal de decomposição.	3,0
2	Rochas laminadas, com pequenas fissuras estratificadas	1,5
3	Rochas alteradas ou em decomposição	Ver nota c)
4	Solos granulares, concrecionados – conglomerados	1,0
5	Solos pedregulhosos compactos a muito compactos	0,6
6	Solos pedregulhosos fofos	0,3
7	Areias muito compactas	0,5
8	Areias compactas	0,4
9	Areias medianamente compactas	0,2
10	Argilas duras	0,3
11	Argilas rijas	0,2
12	Argilas médias	0,1
13	Siltes duros (muito compactos)	0,3
14	Siltes rijos (compactos)	0,2
15	Siltes médios (medianamente compactos)	0,1

Notas a) Para definição dos diferentes tipos de solo, seguir as definições da NBR 6502

b) No caso de calcário ou qualquer outra rocha cárstica devem ser feitos estudos especiais

c) Para rochas alteradas ou em decomposição, têm que ser levados em conta à natureza da rocha matriz e o grau de decomposição ou alteração.

d) Os valores da Tabela, válidos para largura de 2 m, devem ser modificados em função das dimensões e da profundidade das fundações.

Fonte: NBR 6122/96

4.5. MODALIDADES DE FUNDAÇÕES MAIS USADAS EM BELÉM

As modalidades das fundações podem ser divididas em função do seu processo executivo, de sua concepção; profundidade de assentamento; condições do solo e nível d'água do lençol freático.

Neste contexto, as fundações superficiais são executadas através de escavação direta do terreno, geralmente em camadas coesivas acima do nível d'água do subsolo, devendo-se atentar para a dimensão e profundidade mínimas da fundação, além de seu sistema de escavação e concretagem. Desta maneira, é comum a prática na cidade do alicerce corrido; do bloco simples; das sapatas; e mesmo do tubulão a céu aberto.

4.5.1. Alicerce Corrido

a) Definição

São fundações rasas, rígidas e contínuas, constituídas por valas escavadas logo na superfície do terreno, e preenchidas com concreto simples ou empedramento argamassado, geralmente assentado subjacente a uma viga baldrame, Figura 4.5.

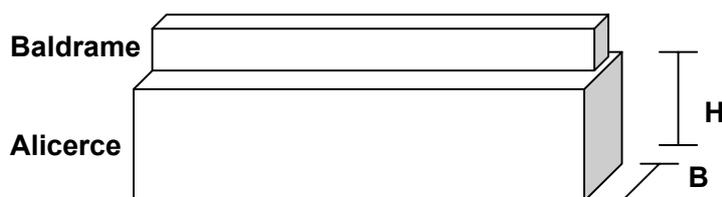


Figura 4.5 – Alicerce e viga baldrame

b) Condições de utilização

- obras não estruturadas (apoiada sobre paredes), com cargas distribuídas de pequeno porte
- camadas de razoável coesão e resistência ($Taxa_{adm} = 0,5$ a $1,0 \text{ kgf/cm}^2$) logo na superfície
- acima do nível do lençol freático

- em Belém o alicerce vem sendo usado em residências e pequenas edificações não estruturadas, nas áreas de topografia mais alta. Este tipo de fundação também foi muito utilizado no passado, em prédios históricos da cidade, como as igrejas e em muitas outras construções.

c) Condição de Trabalho

- Resistência de base

4.5.2. Blocos Simples

a) Definição

Os blocos são fundações superficiais isoladas e rígidas em concreto armado ou não, com base quadrada ou retangular, de dimensão mínima de 60 cm (NBR 6122/96) e, faces verticais retas, inclinadas ou escalonadas. Geralmente são concebidos com alturas tais que, as tensões de tração sejam totalmente resistidas pelo concreto, sem necessidade de armaduras, Figura 4.6.

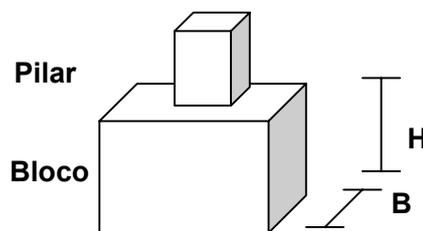


Figura 4.6 – Bloco Simples

b) Condições de utilização

- obras estruturadas, de pequeno porte.
- camadas de razoável coesão e resistência ($Taxa_{adm} = 0,5$ a $1,5 \text{ kgf/cm}^2$) próximo à superfície
- acima do nível do lençol freático
- na cidade de Belém o bloco simples é adotado em obras estruturadas de cargas baixas, geralmente de até dois pavimentos, alcançando cargas da

ordem de 30t. No passado foi utilizado como base de colunas de alvenaria para sustentação de vigamentos dos assoalhos.

c) Condição de Trabalho

Resistência de base

4.5.3. Sapatas

a) Definição

As sapatas são fundações rasas, isoladas e semiflexíveis, em concreto armado, na forma geralmente de tronco de pirâmide e base quadrada ou retangular, com tensões de tração superiores à resistência do concreto, exigindo em função disto armaduras na base. Podem ser associadas a mais de um ponto de carga, sendo neste caso denominadas de sapatas conjugadas ou associadas, necessitando assim, também de armaduras na parte superior para equilíbrio de cargas entre os vários pontos de carregamento.

b) Condições de utilização

- obras estruturadas de pequeno a grande porte
- camadas de razoável a boa resistência e coesão próximo da superfície
- acima do nível do lençol freático
- em Belém, as sapatas são praticadas desde em prédios de estruturas térreas, até edifícios com muitos pavimentos, como na Figura 4.7, sempre em terrenos localizados nas áreas de cotas elevadas. Em alguns casos foi adotada abaixo do nível d'água natural do terreno, com o auxílio de rebaixamento de lençol por bombeamento.

c) Condição de Trabalho

Resistência de base



**Figura 4.7 – Sapata de fundação Ed. Rio Mississipi.
Belém - PA (2001)**

4.5.4. Tubulão

a) Definição

São constituídos por escavações profundas em formato cilíndrico, de diâmetro mínimo de 60 cm, preenchidas com concreto, acrescidas ou não de base alargada em forma de tronco de cone, como na Figura 4.8, podendo ser escavadas a céu aberto ou sob pressão de ar, manualmente ou com o uso de equipamentos mecânicos, com ou sem revestimentos metálicos ou de concreto, em função do que, é modificada a sua execução. Podem ser totalmente armados ou armados apenas na região de arranque dos pilares, condições em que a altura da base deve ser tal que evite tensões de tração superiores à do concreto e tensões de compressão no fuste resistidas apenas pela seção de concreto.

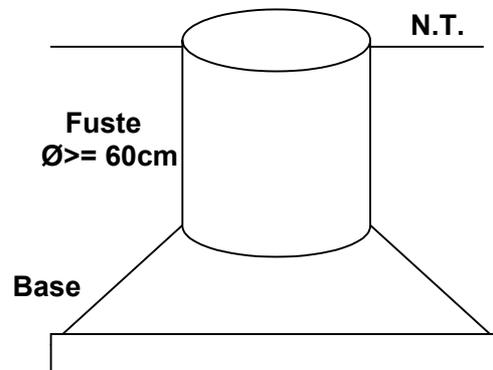


Figura 4.8 – Tubulão a céu aberto

b) Condições de utilização

- obras estruturadas de médio a grande porte
- camadas de boa resistência e coesão não distantes da superfície
- acima do nível do lençol freático para tubulões a céu aberto e, acima e abaixo do N.A quando escavados a ar comprimido
- na cidade de Belém o tubulão a céu aberto passou a ser muito utilizado nos edifícios altos, nas regiões de cotas mais altas, a partir da década de 70 do século passado. Nos terrenos onde era possível sua execução, quase sempre se traduzia em solução de fundação mais apropriada, podendo ainda, em alguns prédios de cargas muito elevadas, trabalhar simultaneamente com sapatas, como na obra da Figura 4.9.

a) Condição de trabalho

Geralmente só resistência de base



**Figura 4.9 – Escavação de tubulão a céu aberto
Ed. Rio Mississippi – Trav. Curuzu
Belém – PA (2001)**

Por sua vez, as fundações profundas em estacas apresentam a maior variedade de processo executivo, conforme já anteriormente citado e abaixo discriminado:

4.5.5. Estacas de Madeira

a) Definição

São fundações profundas cravadas a percussão, Figura 4.10, em seção geralmente quadrada nas dimensões comerciais 20x20cm; 25x25cm e 30x30cm, empregadas em terrenos saturados e arrasamento abaixo do nível d'água do lençol freático, com cargas admissíveis usuais discriminadas na Tabela 4.6. São também empregadas estacas de seção circular e corpo tronco

cônico, oriundas de árvores de reflorestamento, como o pinho e o eucalipto, com diâmetros da ponta e do topo nunca inferiores a 15cm e 25 cm, respectivamente.

b) Condições de utilização

- obras estruturadas de pequeno porte
- camadas de razoável a boa resistência subjacentes a camadas saturadas
- abaixo do nível do lençol freático
- em Belém, as espécies mais comuns são a maçaranduba e o matá-matá e são usadas em áreas alagadas com camadas superficiais compressíveis, para sustentação de prédios de pequeno porte e, em estruturas de contenção como dos portos e trapiches à beira do rio Guamá e baía do Guajará e mais recentemente em agulhamentos com capitéis na base de aterros sobre solos compressíveis nas obras da macro-drenagem da bacia do Una, similar ao executado com estacas de concreto na Ponte do Uriboca na Alça Viária, Figura 4.11. No passado as estacas de madeira foram bastante empregadas deitadas sob os alicerces, alinhadas em grades, formando as conhecidas faxinas tal como no Mercado do Ver-o-Peso. Atualmente seu emprego nas edificações vem sendo reavaliado pela sua baixa capacidade de carga, custo/benefício, durabilidade, recalques.

c) Condição de Trabalho

- Resistência de base e atrito lateral
- Só atrito lateral.

Tabela 4.6 Cargas admissíveis usuais em estacas de madeira

Diâmetro (cm)	Carga (kN)
20	150
25	200
30	300
35	400
40	500

Fonte: HACHICH *et al.* (1996, p.375)



Figura 4.10 – Exemplo de cravação de estaca de madeira
Fonte: Autor (1998)



Figura 4.11 – Exemplo de agulhamento com capitéis na Alça Viária de Belém
Belém – PA (2001)

4.5.6. Estacas pré-moldadas de concreto:

a) Definição

São fundações profundas cravadas a percussão, conforme Figura 4.12, geralmente em concreto armado vibrado, de seção quadrada nas dimensões comerciais 20x20cm; 25x25cm; 30x30cm, e 35x35cm, ou, em seção anelar no caso de estacas em concreto centrifugado ou protendido, como as da ponte do rio Guamá na alça viária de Belém, mostrada na Figura 4.13, com cargas admissíveis usuais dispostas na Tabela 4.7.

b) Condições de utilização

- obras estruturadas de pequeno a grande porte
- camadas de boa resistência distantes da superfície
- acima e abaixo do nível do lençol freático

Em Belém, as estacas pré-moldadas de concreto armado, são bastante comuns, e foram disseminadas principalmente a partir da década de 70 e 80 do século XX, quando permitiram o avanço das construções de edifícios altos nas áreas de baixadas da cidade, primeiramente usando estacas de concreto centrifugado de seção anelar, importadas da fábrica SCAC do estado de Goiás e depois, com o uso de estacas em concreto armado de seção quadrada, produzidas em fábricas locais ou mesmo em canteiros de obras, como mostra as armações da Figura 4.14. Embora já tenham sido utilizadas em áreas de terrenos superficiais de razoável resistência, onde as fundações diretas se mostraram inadequadas, atualmente são mais usadas em regiões da cidade onde as camadas superficiais são moles, de maneira a se evitar vibrações a terrenos vizinhos.

c) Condição de Trabalho

- Resistência de base e atrito lateral
- Só atrito lateral



**Figura 4.12 – Exemplo de cravação de estaca de concreto armado
Ed. Rio Tâmis – Rua dos Mundurucus
Belém - PA (2001)**



**Figura 4.13 – Estacas de seção anelar em concreto protendido
Fundações da ponte sobre o Rio Guamá – Alça Viária
Belém - PA (2002)**



Figura 4.14 – Armaduras de estacas de concreto armado fabricadas no local Canteiro de obra do Ed. Rio Tâmis – Rua dos Mundurucus Belém - PA (2001)

Tabela 4.7 – Estacas cravadas de concreto / cargas admissíveis usuais

Tipo de Estaca	Dimensão (cm)	Carga Usual (tf)	Carga Máxima (tf)	Observações
Pré-moldada vibrada quadrada $\sigma = 60 \text{ a } 90 \text{ kgf/cm}^2$	20x20	25	35	Disponíveis
	25x25	40	55	até 8 m
	30x30	55	80	Podem ser
	35x35	80	100	Emendadas
Pré-moldada vibrada circular $\sigma = 90 \text{ a } 110 \text{ kgf/cm}^2$	Ø 22	30	40	Disponíveis até 10 m
	Ø 29	50	60	Podem ter emendas
	Ø 33	70	80	Podem ter furo central

Pré-moldada protendida circular	Ø 20	25	35	Disponíveis até 12 m
$\sigma = 100$ a 140 kgf/cm^2	Ø 25	50	60	Podem ter emendas
	Ø 33	70	80	Com furo central ocas
Pré-moldada centrifugada	Ø 20	25	30	Disponíveis até 12 m
$\sigma = 90$ a 110 kgf/cm^2	Ø 26	40	50	Podem ter emendas
	Ø 33	60	75	Com furo central ocas
	Ø 42	90	115	Paredes de 6 a 12 cm
	Ø 50	130	170	
	Ø 60	170	230	

Fonte: HACHICI *et al.* (1998, p.224)

4.5.7. Estacas escavadas com uso de injeção

a) Definição

São fundações profundas em seção circular, moldadas no local, cujo processo executivo é baseado em escavação, normalmente com perfuração rotativa revestida e circulação d'água, conforme mostra a Figura 4.15, com ou sem o uso de lama estabilizante, armadas geralmente de modo a toda a carga ser resistida pelo aço e, preenchidas com injeção de material aglutinante em argamassa de cimento e areia ou calda de cimento, simultaneamente à retirada do tubo de revestimento. Neste contexto estão enquadradas as estacas tipo "raiz", nos diâmetros finais comerciais mais comuns de 20cm; 25cm; 30cm e 35cm. Sua aparência final não é regular conforme mostrado na Figura 4.16 e suas cargas admissíveis usuais estão dispostas na Tabela 4.8.

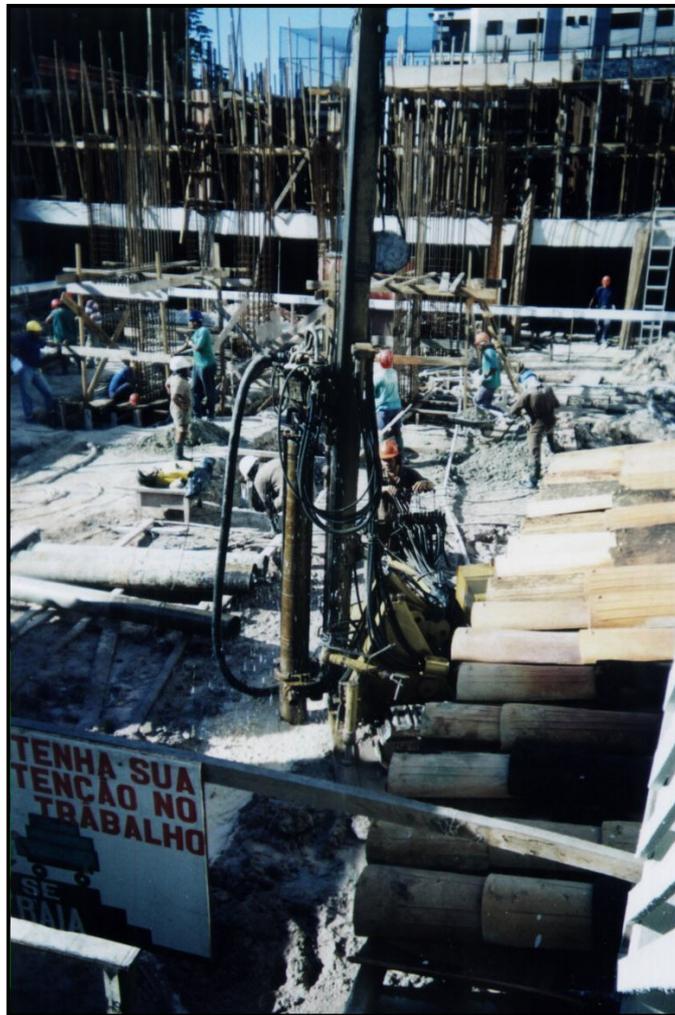
b) Condições de utilização

- obras estruturadas de médio a grande porte
- camadas de boa resistência distantes da superfície
- acima e abaixo do nível do lençol freático
- Em Belém, as estacas raiz passaram a ter seu uso difundido a partir dos anos 80 e em maior escala nos anos 90 do século XX, por possibilitarem a

sustentação de grandes cargas, principalmente em áreas de camadas superficiais de razoável resistência ($SPT > 4$), onde as fundações diretas se mostraram inadequadas, e as estacas pré-moldadas de concreto transmitiriam muita vibração aos terrenos vizinhos.

c) Condição de Trabalho

- Resistência de base e atrito lateral
- Só atrito lateral



**Figura 4.15 – Exemplo de execução de estaca tipo raiz
Ed. Torre de Durhan – Rua Boaventura da Silva
Belém – PA (2001)**



**Figura 4.16 – Aspecto das estacas raiz
Ed. Torre de Durhan – Rua Boaventura da Silva
Belém – PA (2001)**

Tabela 4.8 – Cargas admissíveis usuais das estacas tipo “Raiz”

Estaca Tipo Raiz	Diâmetro Inicial (cm)	Carga Usual (tf)	Carga Máxima (tf)	Diâmetro Final (cm)
	Ø 17	30	40	Ø 20
	Ø 22	50	60	Ø 25
	Ø 27	70	90	Ø 30
	Ø 32	100	110	Ø 35

Fonte: HACHICH *et al.* (1998, p.225)

4.5.8 Estacas escavadas de Hélice Contínua

a) Definição

São fundações profundas em seção circular, moldadas no local, cujo processo executivo é baseado em escavação, com perfuração executada através da rotação de hélice contínua de um trado mecânico de diâmetro variando geralmente entre 27,5 e 100cm, inicialmente sem a retirada do material escavado, Figura 4.17, e, preenchidas com injeção de concreto bombeado pela haste central do trado, e retirada simultânea da hélice, contendo o solo escavado, e sem rotação. Sua profundidade é limitada à altura do trado e as armaduras deste tipo de estaca só podem ser inseridas após a concretagem, enquanto o concreto ainda não estiver endurecido, por isso, normalmente só são armadas 4 a 8m no topo no caso de estacas trabalhando à compressão e até 12m para estacas tracionadas. As cargas admissíveis usuais destas estacas estão relacionadas na Tabela 4.9.

b) Condições de utilização

- obras estruturadas de médio a grande porte
- camadas de boa resistência distantes da superfície
- acima e abaixo do nível do lençol freático
- Em Belém, o uso de estacas tipo hélice contínua foi introduzido no ano de 2002, possibilitando a sustentação de grandes cargas com pequeno número de estacas, diante de sua seção transversal elevada, principalmente em áreas onde as fundações diretas se mostraram inadequadas, as estacas pré-moldadas de concreto transmitiriam muita vibração aos terrenos vizinhos.

c) Condição de Trabalho

- Resistência de base e atrito lateral
- Só atrito lateral

Tabela 4.9 – Cargas admissíveis usuais das estacas tipo Hélice Contínua

Diâmetro da hélice (mm)	Cargas Usuais (kN)	Diâmetro interno da haste (mm)	Distância entre eixos (cm)
275	250 – 350	100	70
350	350 – 500	100	90
400	500 – 650	100	100
425	550 – 700	100	105
500	700 – 1000	100	125
600	1100 – 1400	100	150
700	1550 – 1900	100	175
800	2000 – 2500	150	200
900	2550 – 3100	150	225
1000	3150 - 3900	150	250

Fonte: HACHICH *et al.* (1998, p.347)



Figura 4.17 – Exemplo de execução de estaca tipo hélice contínua
Fonte: FUNDESP – Catálogo de Produtos (2001)

4.5.9. Estaca tipo Franki

a) Definição

São fundações profundas em seção circular, moldadas in loco, cujo processo executivo é baseado em escavação, por percussão de um revestimento com bucha seca em sua ponta inferior, a qual é expulsa do molde quando atingida a resistência do solo desejada, obtendo-se por apiloamento o alargamento da base, sendo em seguida inserida a armadura no interior da escavação e preenchida com concreto compactado pelo pilão, com retirada simultânea do revestimento da estaca, conforme processo executivo da Figura 4.18. Os diâmetros comerciais mais comuns são de 30cm; 35cm; 40cm; 52cm e 60cm e suas cargas admissíveis usuais estão dispostas na Tabela 4.10.

b) Condições de utilização

- obras estruturadas de médio a grande porte
- camadas de boa resistência distantes da superfície
- acima e abaixo do nível do lençol freático
- Na cidade de Belém, as estacas tipo Franki foram introduzidas a partir da década de 70 do século passado, mas em razão da grande transmissão de vibração por seu processo executivo, além da inexistência do equipamento em empresas locais, se constituiu em fundação pouco utilizada e atualmente não praticada na cidade.

c) Condição de Trabalho

- Resistência de base e atrito lateral
- Só atrito lateral

4.5.10. Estacas de Aço

a) Definição

São fundações profundas cravadas a percussão, constituídas de perfis em aço laminados ou soldados, simples ou múltiplos, tipo “H” e “I”, chapas dobradas de seção quadrada, retangular e circular (tubos) e ainda de trilhos reaproveitados de ferrovias, quando substituídos ou desativados, conforme Figura 4.19. Diante do custo elevado do aço e das grandes profundidades que geralmente alcançam, seu uso só se torna economicamente viável quando assentes sobre camadas de base de resistência elevada, pois ainda assim, transmitem pouca vibração aos terrenos vizinhos, e apresentam vantagens de oferecer grande capacidade de carga como elemento estrutural, boa trabalhabilidade, fácil transporte e manuseio e emendas eficientes. As estacas de aço mais comuns, com suas respectivas cargas admissíveis, estão relacionadas na Tabela 4.11.

b) Condições de utilização

- obras estruturadas de médio a grande porte
- camadas de elevada resistência distantes da superfície
- acima e abaixo do nível do lençol freático
- Em Belém, as estacas metálicas já utilizadas foram sempre do tipo trilho de seção simples ou múltipla e sua aplicação em algumas obras demonstraram certo equívoco, quando alcançaram grandes profundidades e obviamente custo final elevado.

c) Condição de Trabalho

- Resistência de base e atrito lateral
- Só atrito lateral

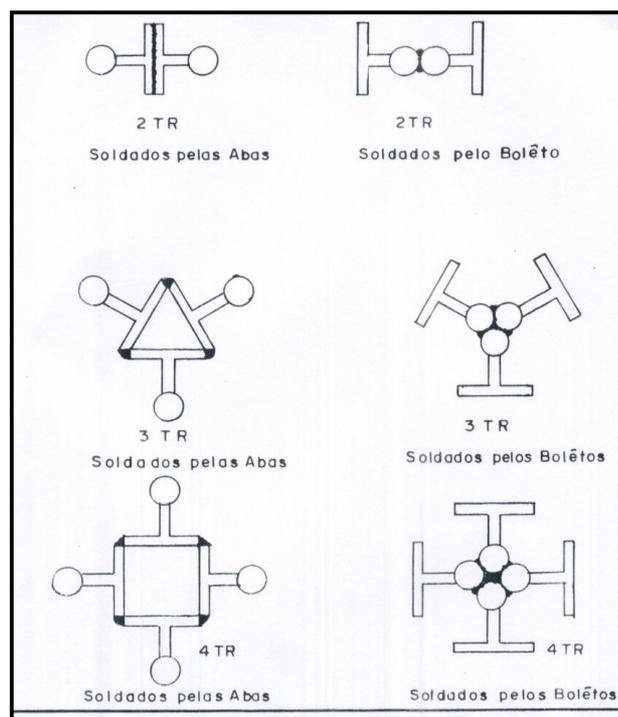


Figura 4.19 – Tipos de arranjos em estacas com trilhos

Fonte: OLIVEIRA F ° (1986)

Tabela 4.11 – Estacas de Aço / cargas admissíveis usuais

Tipo de Perfil $\sigma = 60$ a 100 kgf/cm ²	Tipo / Dimensão	Carga Máxima (tf)	Área (cm ²)	Peso/metro (kg/m)
Trilhos	TR 25	20	31,4	24,6
Trilhos	TR 32	25	40,9	32,0
Trilhos	TR 37	30	47,3	37,1
Trilhos	TR 45	35	56,8	44,6
Trilhos	TR 50	40	64,2	50,3
Trilhos	2 TR 32	50	81,8	64,0
Trilhos	2 TR 37	60	94,6	74,2
Trilhos	3 TR 32	75	122,7	96,0
Trilhos	3 TR 37	90	141,9	111,3
Perfil H	H 6"	40	47,3	37,1
Perfil I	I 8"	30	34,8	27,3

Perfil I	1 I 10''	40	48,1	37,7
Perfil I	1 I 12''	60	77,3	60,6
Perfil I	2 I 10''	80	96,2	75,4
Perfil I	2 I 12''	120	154,6	121,2

Fonte HACHICH *et al.* (1998, p.225 e 377)

4.6. Controle Executivo:

De uma maneira geral, devem ser observadas para as várias modalidades de fundação, seja ela superficial ou profunda, as condições pertinentes ao seu processo executivo, seja de escavação ou cravação; a execução das emendas; o preparo das cabeças de ligação com os blocos; a análise da carga de trabalho da fundação isoladamente e o efeito de grupo para todo um bloco.

A tendência mundial é no futuro, enquadrar as fundações no controle de qualidade estabelecido para os produtos industrializados. Assim, devem ser testados os materiais componentes, fiscalizados os serviços e avaliados os desempenhos alcançados.

De certa forma, pode-se avaliar o desempenho de uma fundação isoladamente ou em conjunto e o melhor procedimento é através de provas de carga, que consistem em se aplicar carregamentos sobre a fundação e acompanhar os recalques sofridos. As provas de carga podem ser **estáticas** e **dinâmicas** e existem normalizações para seus procedimentos.

Para as fundações em estacas cravadas a percussão, outros controles podem ser utilizados, pelo do próprio processo de cravação, como a **nega** e o **repique**, que consistem em determinar a capacidade de carga das estacas através de formulações dinâmicas, baseadas na Teoria de Choque dos Corpos Rígidos formulada por Newton, através da resistência oferecida pelo solo (**R**) na transferência de energia transmitida pela queda de altura (**h**) do martelo de cravação de peso (**W**), a energia recebida pela estaca de peso (**P**), e a penetração nela provocada (**s**), conforme esquema da Figura 4.20, associadas às perdas de energia durante o processo de cravação e ao coeficiente de segurança (**FS**) de cada teoria.

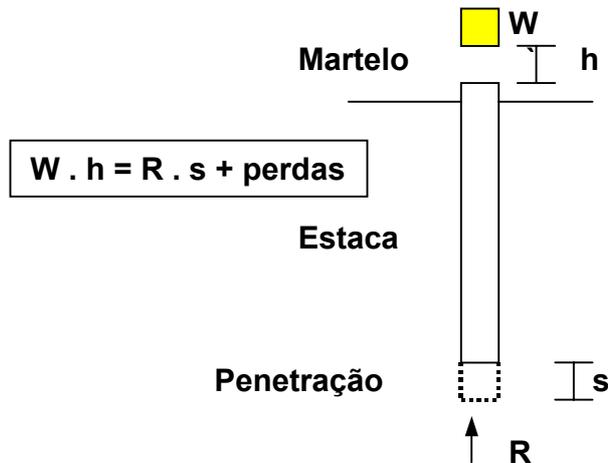


Figura 4.20 – Fundamento das fórmulas dinâmicas

Denomina-se “nega”, à penetração permanente de uma estaca após a ação de queda do martelo de cravação, geralmente medida após uma série de dez golpes consecutivos. Dentre as fórmulas dinâmicas mais utilizadas, destacam-se a dos Holandeses e de Brix (ALONSO, 1991), abaixo discriminadas:

Fórmula dos Holandeses

$$R_{adm} = R / FS \quad (FS=10)$$

$$S = \frac{W^2 \cdot h}{R \cdot (W+P)}$$

Fórmula de Brix

$$R_{adm} = R / FS \quad (FS=5)$$

$$S = \frac{W^2 \cdot P \cdot h}{R \cdot (W+P)^2}$$

Além das fórmulas dinâmicas, existem outros processos de controle das fundações em estacas como o ensaio de integridade de estacas e o ensaio de carregamento dinâmico, não praticados ainda em Belém.

4.7 Critérios Normativos:

No Brasil, as diretrizes de projeto, dimensionamento e critérios executivos das fundações são regidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, através da **NBR 6122/96 – Projeto e Execução de Fundações**.

A norma versa sobre os seguintes assuntos:

- a) Definições gerais
- b) Investigações geológicas e geotécnicas
- c) Carga e segurança nas fundações
- d) Fundações superficiais
- e) Fundações profundas
- f) Controle executivo

CAPÍTULO – 05

5. METODOLOGIA DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5. METODOLOGIA DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS:

5.1. METODOLOGIA DA PESQUISA:

A pesquisa de campo desenvolvida no presente trabalho abrangeu o levantamento dos dados relativos às fundações utilizadas na construção de 123 obras, preferencialmente edifícios altos, erguidos principalmente nos anos 80 e 90, na cidade de Belém-PA, coletados junto a profissionais projetistas e empresas construtoras atuantes na cidade, através da aplicação de formulário previamente elaborado, no molde do modelo do Anexo-A, que compreendia as informações abaixo discriminadas:

- Identificação da obra
- Endereço da obra (incluindo tipo de via; nome da via e n ° predial).
- Perímetro
- Tipo de edificação (residencial / comercial / industrial / outros)
- Número de pavimentos
- Data (ano) da construção (fundação)
- Tipo(s) de fundação (ões)
- Classe da fundação (superficial ou profunda)
- Classificação da camada de solo de assentamento
- Espessura da camada de solo de assentamento
- Profundidade da fundação (base)
- Capacidade de carga considerada na base da fundação
- Perfil esquemático do solo no local da obra, conforme nomenclatura adotada
- Custo relativo das fundações em percentual ao custo total da edificação
- Processo executivo empregado
- Ocorrências e imprevistos registrados durante e após a construção das fundações.

Para facilitar o cadastramento dos dados, foram adotadas algumas nomenclaturas referentes ao tipo de fundações utilizadas (Tabela 5.1); processo executivo empregado (Tabela 5.2); classificação do solo da camada de assentamento (Tabela 5.3); perfil geotécnico esquemático do terreno (Quadro 5.1) e, tipo de via do local da obra (Tabela 5.4), conforme discriminado abaixo:

Tabela 5.1 - Tipos de Fundações Utilizadas

BS	Bloco Simples
SP	Sapata
TB	Tubulão
TS	Tubulão e Sapata associada
EC	Estaca pré-moldada de concreto armado
EM	Estaca de Madeira
ER	Estaca Raiz
EI	Estaca Presso-Injetada
EF	Estaca Franki
EA	Estaca de Aço
EP	Estaca pré-moldada de concreto protendido
AS	Sapata e Estacas de aço
CA	Estaca pré-moldada de concreto e de aço
HC	Estaca tipo hélice contínua
CT	Estaca de concreto na torre do prédio e tubulão nas garagens
RT	Estaca raiz na torre do prédio e tubulão nas garagens

Tabela 5.2 - Processo Executivo das Fundações

ED	Escavação Direta
CP	Cravação a Percussão
PL	Perfuração com lavagem e injeção
HC	Escavação por hélice contínua
EP	Escavação a percussão

Tabela 5.3 – Classificação do Solo da Camada de Assentamento

AAA	Areia
GGG	Argila
SSS	Silte
OOO	Orgânica
PPP	Pedregulho
AGS	Areia Argilo Siltosa
ASG	Areia Silto Argilosa
GSA	Argila Silto Arenosa
GAS	Argila Areno Siltosa
SAG	Silte Areno Argiloso
SGA	Silte Argilo Arenoso

Quadro 5.1 – Perfil Geotécnico Esquemático do Terreno

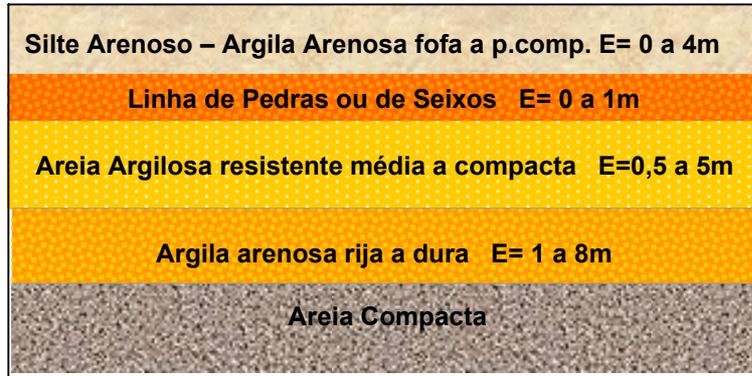
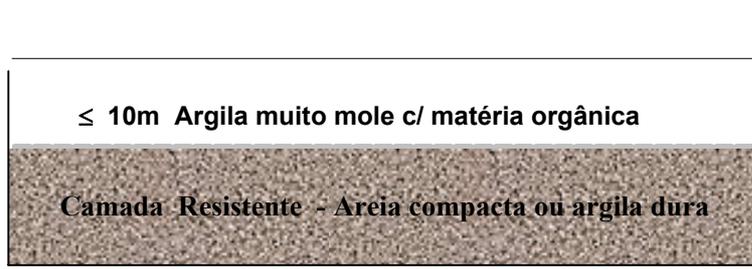
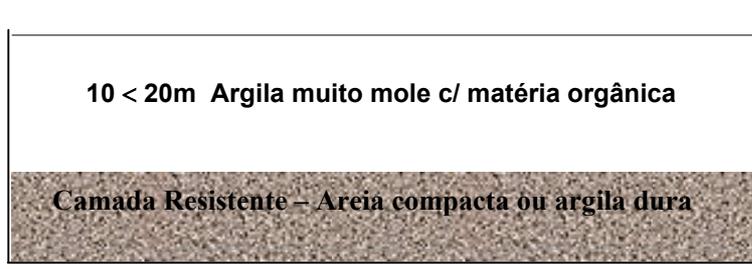
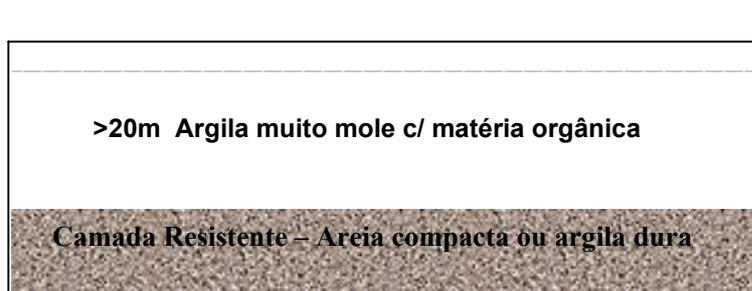
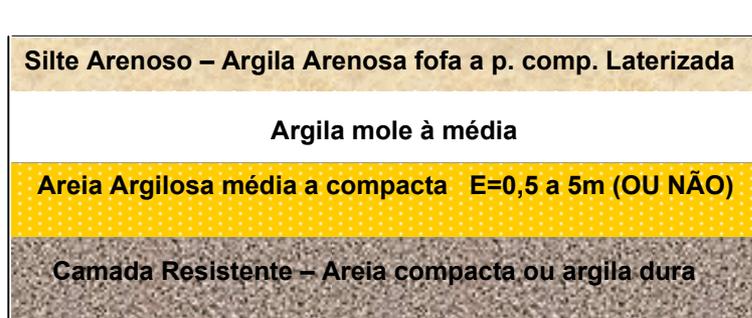
<p>Tipo A</p>	 <p>Silte Arenoso – Argila Arenosa fofa a p.comp. E= 0 a 4m</p> <p>Linha de Pedras ou de Seixos E= 0 a 1m</p> <p>Areia Argilosa resistente média a compacta E=0,5 a 5m</p> <p>Argila arenosa rija a dura E= 1 a 8m</p> <p>Areia Compacta</p>
<p>Tipo B</p>	 <p>≤ 10m Argila muito mole c/ matéria orgânica</p> <p>Camada Resistente - Areia compacta ou argila dura</p>
<p>Tipo C</p>	 <p>10 < 20m Argila muito mole c/ matéria orgânica</p> <p>Camada Resistente – Areia compacta ou argila dura</p>
<p>Tipo D</p>	 <p>>20m Argila muito mole c/ matéria orgânica</p> <p>Camada Resistente – Areia compacta ou argila dura</p>
<p>Tipo E</p>	 <p>Silte Arenoso – Argila Arenosa fofa a p. comp. Laterizada</p> <p>Argila mole à média</p> <p>Areia Argilosa média a compacta E=0,5 a 5m (OU NÃO)</p> <p>Camada Resistente – Areia compacta ou argila dura</p>

Tabela 5.4 - Tipo de via

AVN	Avenida
RUA	Rua
TVS	Travessa
PSS	Passagem
PCA	Praça

Os dados coletados foram lançados a partir do formulário de pesquisa em uma planilha do tipo *Microsoft Excel*, transcrita integralmente no Anexo-B deste trabalho, ordenados sob um número seqüencial de registro para cada obra, de 01 a 123, aplicados aleatoriamente, equivalentes à numeração que cada ponto iria assumir na proposta preliminar de mapeamento geotécnico da cidade por sistema de informação geográfica *SIG*, no cadastramento para o programa *ArcView 3.2.*, que foi o *software SIG* adotado na dissertação, por ser compatível com o *Excel* e por ter sido o programa já utilizado em outros trabalhos de mapeamento geográfico desenvolvidos na Universidade Federal do Pará. A quantidade de 123 obras cadastradas se deu em função do tempo disposto para a coleta de dados e principalmente, do retorno obtido das empresas, profissionais e comunidade técnica local, no fornecimento de informações para a pesquisa. Mesmo assim, a planilha ainda apresenta algumas lacunas de dados sem registros, em decorrência da falta de informação.

Depois de catalogados, os pontos relativos a cada obra foram locados em um mapa digitalizado da cidade de Belém – PA, obtido junto ao acervo cartográfico eletrônico da Companhia de Habitação do Estado do Pará – COHAB-PA, que serviu de base cartográfica para o lançamento dos dados no programa *ArcView* e, elaboração dos mapas geotécnicos propostos nesta dissertação, desenvolvidos de acordo com a metodologia e os procedimentos expostos no capítulo seguinte.

5.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados levantados foram ordenados e catalogados e depois analisados isoladamente e em conjunto, visando estabelecer percentuais e gráficos que avaliem as condições das fundações e obras cadastradas em função dos seguintes aspectos:

- Tipo de edificação
- Número de pavimentos da edificação
- Ano de execução da obra (fundação)
- Tipo de fundação utilizada
- Classificação da fundação
- Classificação do solo de assentamento,
- Espessura da camada de assentamento
- Profundidade da fundação
- Capacidade de carga na base da fundação
- Perfil geotécnico esquemático do terreno
- Processo executivo empregado na fundação
- Custo relativo da fundação em relação ao total da obra.

Estas análises foram agrupadas em estudos associados às edificações; às fundações; e ao solo, conforme exposto nos subitens seguintes.

5.2.1. Análise dos Resultados Relacionados às Edificações

As edificações cadastradas compreenderam basicamente edifícios altos residenciais, construídos nas duas últimas décadas do século XX, localizados na grande maioria em áreas de “terra firme” da cidade nos bairros do Umarizal; Marco e Pedreira e em áreas de “baixada” nos bairros do Umarizal, Batista Campos e Jurunas, regiões onde se intensificou a ocupação imobiliária na cidade nas décadas em referência, em razão da implementação de infraestrutura e valorização local; da disponibilidade de terrenos e, da evolução das fundações que permitiu a melhor utilização das áreas baixas.

a) Tipo das Edificações

Mais de 80% das edificações cadastradas foram do tipo residencial, conforme exposto no gráfico da Figura 5.1 e na Tabela 5.5., o que traduz o expressivo crescimento do mercado imobiliário de Belém desde as duas últimas décadas do século passado até os dias atuais.

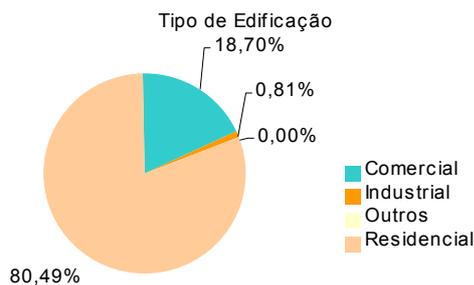


Figura 5.1 - Tipo de Edificação

Tabela 5.5. – Tipo de Edificação

Tipo de Edificação		%
Comercial	23	18,70
Industrial	1	0,81
Outros	0	0,00
Residencial	99	80,49
Total	123	100,00

b) Número de Pavimento das Edificações

Mais da metade das edificações cadastradas foram constituídas por edifícios altos entre 10 a 20 pavimentos; quase ¼ do total apresentou até 05 pavimentos e o restante teve número variável, não excedendo a 34 andares, de acordo com a Tabela 5.6 e o gráfico da Figura 5.2.

Tabela 5.6. – N ° de Pavimentos

Número de Pavimentos		%
0-5	28	22,76
5-10	9	7,32
10-15	38	30,89
15-20	33	26,83
20-25	7	5,69
25-30	2	1,63
30-35	1	0,81
SR	5	4,07
Total	123	100,00

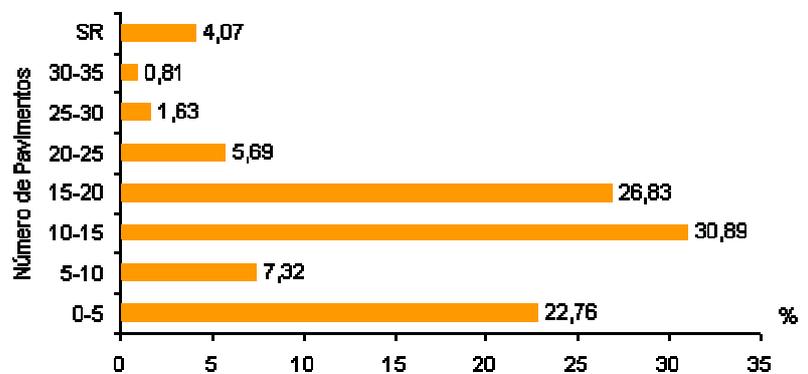


Figura 5.2 - Número de Pavimentos

c) Ano de Execução das Fundações

Substancialmente as fundações cadastradas foram executadas no período compreendido entre os anos de 1985 a 2002, conforme mais bem apresentado na Tabela 5.7 e na Figura 5.3.

Tabela 5.7 – Ano de Execução

Idade		%
1980 - 1985	3	2,44
1985 - 1990	40	32,52
1990 - 1995	29	23,58
1995 - 2000	34	27,64
2000 - 2003	17	13,82
Total	123	100

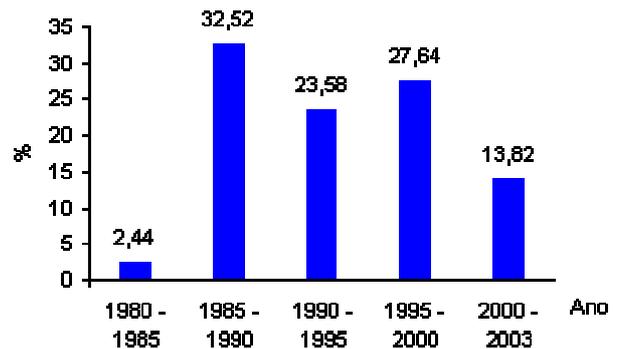


Figura 5.3.- Ano de Execução Das Fundações

5.2.2. Análise dos Resultados Relacionados às Fundações:

A análise das fundações foi procedida em função de suas classes; tipo; profundidade média; capacidade de carga e custo relativo em relação ao total da obra, de acordo com as seguintes disposições:

a) Classe das Fundações

A classificação das fundações em superficiais e profundas, adotada neste trabalho, obedeceu ao disposto na NBR-6122, que delimita as fundações superficiais como aquelas que apresentam dimensões da base com até duas vezes a sua profundidade de assentamento e como fundações profundas as que ultrapassam este valor. Em muitos casos cadastrados, a obra apresentou situações que aceitavam as duas condições de classificação, tendo sido adotada nestes casos a classe profunda. Desta forma, em função do exposto, do porte das obras e do solo da cidade, mais de 86% dos registros foram profundos conforme a Tabela 5.8 e Figura 5.4.

Tabela 5.8 – Classe Das Fundações

Classificação		%
Profunda	106	86,18
Superficial	17	13,82
Total	123	100,00

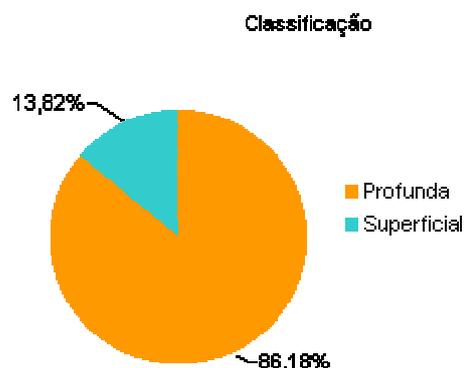


Figura 5.4 -Classe das Fundações

b) Processo Executivo das Fundações

As fundações cadastradas apresentaram-se quase 50% constituídas por estacas de diversos processos e, pouco mais de 50% constituídas por fundações trabalhando só com resistência de base, executadas por escavação direta, tipo tubulão a céu aberto e/ou sapatas, tal como mostra na Tabela 5.9 e o gráfico da Figura 5.5, o que expressa a preferência pelas fundações por escavação direta, nos terrenos de terra firme e a tendência do estaqueamento para as outras áreas da cidade, ou em função do grande porte das obras.

Tabela 5.9 - Processo Executivo

Processo Executivo		%
ED - Escavação Direta	63	51,22
Outros – (Estacas)	60	48,78
Total	123	100

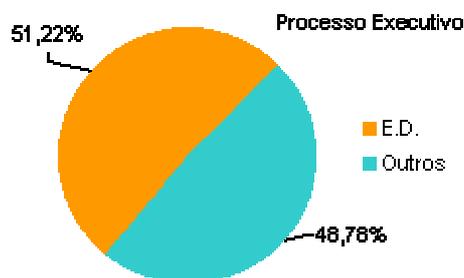


Figura 5.5 - Processo Executivo

c) Tipo das Fundações

De acordo com a Tabela 5.10 e o gráfico da Figura 5.6, se observa que as fundações mais praticadas entre as obras cadastradas, foram o tubulão a céu aberto (somando as obras em que este foi associado com sapatas) e a estaca pré-moldada de concreto armado, seguido das sapatas e depois, com pouca representatividade das demais fundações. Isto mostra uma preferência pelos tubulões a céu aberto para os terrenos de terra firme e pelas estacas de concreto para as áreas de baixada. Esta tendência vem se modificando um pouco nas obras mais recentes, em razão do aumento da média do número de pavimentos dos edifícios que vem passando de 18 para 28, exigindo fundações de maior capacidade de carga, além do risco e problemas de mão de obra com a escavação direta e dos danos aos vizinhos provocados pela vibração transmitida pela cravação à percussão, que têm aberto caminho para estacas escavadas mecanicamente como a estaca raiz e, mais recentemente introduzida em Belém, a hélice contínua.

Tabela 5.10 – Tipo das Fundações

Tipo de Fundação		%
BS	1	0,81
CA	1	0,81
CT	2	1,63
EC	47	38,21
EI	1	0,81
EM	1	0,81
EP	1	0,81
ER	1	0,81
HC	1	0,81
RT	3	2,44
SA	1	0,81
SP	9	7,32
TB	40	32,52
TS	14	11,38
Total	123	100

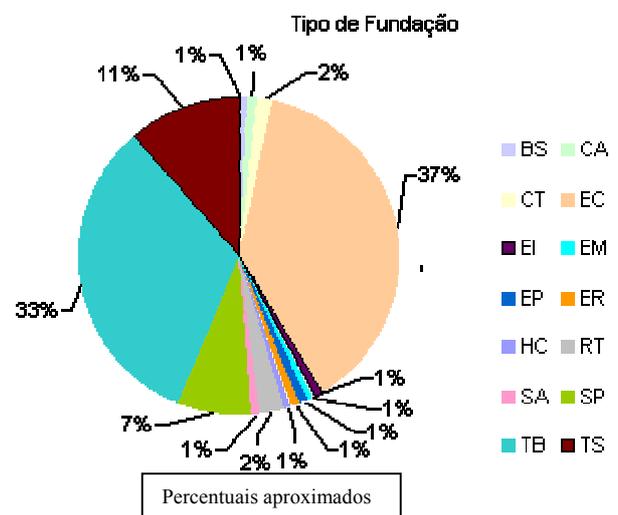


Figura 5.6 – Tipo das Fundações

d) Carga de Trabalho das Fundações

Um aspecto importante abordado na pesquisa foi, a carga de trabalho adotada nas fundações cadastradas, a qual foi considerada para qualquer modalidade de fundação, esteja ela trabalhando somente com resistência de base ou, com resistência de base e atrito lateral, como sendo a relação entre a carga de trabalho do elemento de fundação (sapata, tubulão ou estaca), e sua respectiva área de base. Os valores utilizados nos prédios registrados estão indicados na Tabela 5.11 e no gráfico da Figura 5.7, mostrando que nas fundações tipo tubulão e/ou sapata, as cargas de trabalho mais usadas se situaram entre 2 e 5 kg/cm² e nas estacas, os valores usuais da carga de trabalho de topo saltaram para o intervalo de 50 a 60 kg/cm². Estes valores foram retirados diretamente dos projetos cadastrados sem a verificação dos fatores de segurança utilizados, muito embora são geralmente usados em Belém FS=3,0 para fundações superficiais e FS=2,0 para as fundações profundas.

Tabela 5.11 Capacidade de Carga das Fundações

Carga de Trabalho (kgf/cm ²)	Quant.	%
0-3	18	14,63
3-6	42	34,15
6-12	0	0
12-20	0	0
20-30	1	0,81
30-40	1	0,81
40-50	9	7,32
50-60	26	21,14
60-70	11	8,94
>70	3	2,44
SR	12	9,76
Total	123	100

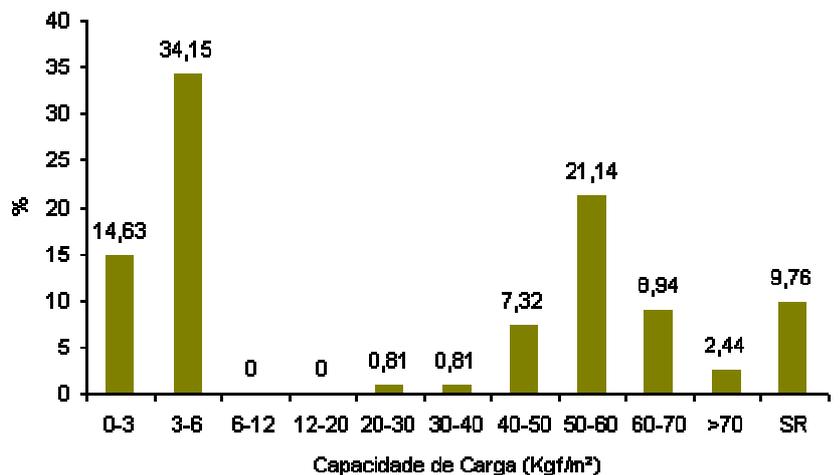


Figura 5.7 – Carga de Trabalho das Fundações

A Tabela 5.12 apresenta os valores médios considerados para a carga de trabalho, por tipo de fundação, mostrando claramente as taxas mais utilizadas no período na cidade e, o gráfico da Figura 5.8, retrata os mesmos valores, agrupados por fundações que usam o mesmo processo executivo. É importante ressaltar que o valor médio de 3,4 kg/cm² encontrado para os tubulões e sapatas e o de 60,8 kg/cm² encontrado para as estacas pré-moldadas de concreto, foram substancialmente definidos pelo número representativo de registro, o que não ocorreu com as estacas tipo raiz e hélice contínua.

Tabela 5.12 – Carga de Trabalho / Tipo de Fundação

Tipo	Carga Trab. kgf/cm ²
SP	2,98
TB	3,48
TS	3,74
EC	56,66
ER	0
EM	28
HC	67
EA	0
EP	65
EI	0
BS	0
CA	48
AS	0
RT	90
CT	51,5

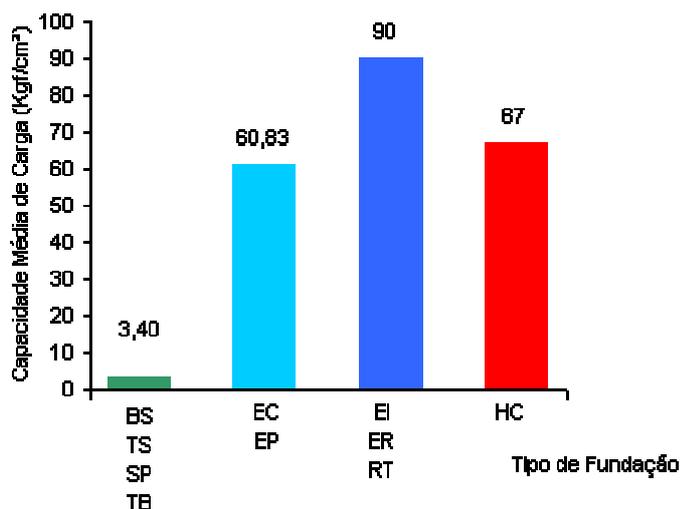


Figura 5.8 – Carga de Trabalho / Tipo de Fundação

e) Profundidade Média das Fundações

A profundidade média das fundações discriminada na Tabela 5.13 e no gráfico da Figura 5.9, expressa a maior concentração nas profundidades de até 5 metros, associadas às sapatas e aos tubulões e 5 a 10 metros para as estacas curtas e alguns casos de tubulões. Estacas na profundidade de 0 a 20 metros apresentam também uma boa representatividade.

Tabela 5.13 – Profundidade Média das Fundações

Profundidade média (m)		%
0-5	35	28,46
5-10	49	39,84
10-15	13	10,57
15-20	13	10,57
20-25	6	4,88
25-30	5	4,07
SR	2	1,63
Total	123	100

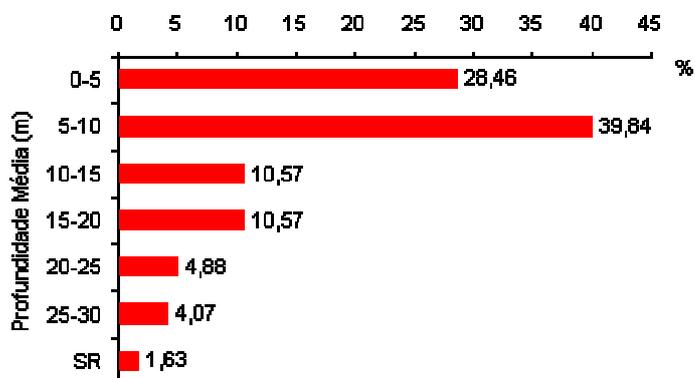


Figura 5.9 -Profundidade Média das Fundações

A profundidade foi analisada também, em função do tipo de fundação utilizada, sendo estabelecido na Tabela 5.14 os valores médios correspondentes a cada uma das fundações cadastradas e, no gráfico da Figura 5.10, as profundidades médias associadas às fundações com o mesmo processo executivo, que apresentam valores de 3,84m para tubulões e sapatas; 21,6m para as estacas pré-moldadas de concreto e, profundidades menores para as estacas escavadas.

Tabela 5.14 – Profundidade Média / Tipo de Fundação

Tipo	Prof.
BS	2
CA	8
CT	8,5
EC	15,28
EI	11
EM	15
EP	28
ER	11
HC	8
RT	12,25
SA	7,5
SP	3,17
TB	5,21
TS	4,96

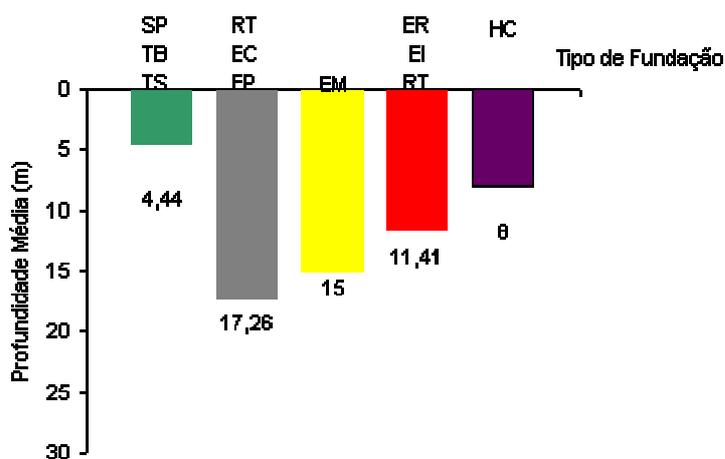


Figura 5.10- Profundidade Média / Tipo de Fundação

f) Custo Relativo das Fundações em Relação ao Total da Obra

Outra análise interessante abordada na pesquisa, foi a relação percentual entre custo das fundações e o custo total da obra, cujos valores se encontram descritos em intervalos unitários na Tabela 5.15 e no gráfico da Figura 5.11, oscilando basicamente de 2% a 7%. Infelizmente, cerca de 40% das obras cadastradas ficaram sem registro deste item.

Tabela 5.15 – Custo Relativo das Fundações

Custo Relativo %	N ° Obras	%
1-2	1	0,81
2-3	5	4,07
3-4	19	15,45
4-5	16	13,01
5-6	13	10,57
6-7	12	9,76
7-8	4	3,25
8-9	1	0,81
SR – Sem Registro	52	42,28
Total	123	100

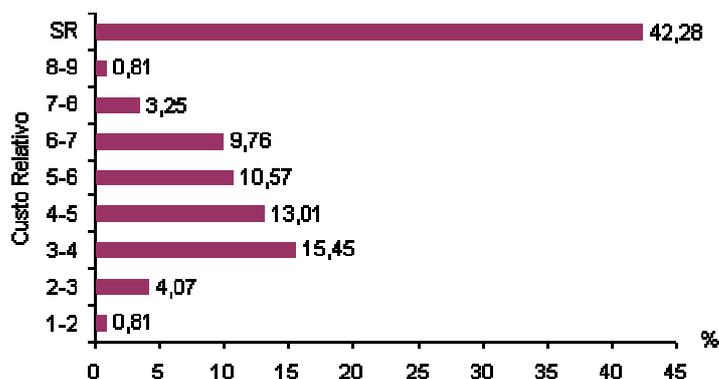


Figura 5.11 – Custo Relativo das Fundações

O custo relativo foi também abordado em função do tipo de fundação, de acordo com o processo executivo empregado, agrupando-as em tubulões/sapatas, estacas pré-moldadas de concreto e estacas escavadas, conforme disposto na Tabela 5.16 e no gráfico da Figura 5.12, que identificam claramente um custo da ordem de 4% para as fundações executadas por escavação direta e, em torno de 7% para as fundações em estacas. Ressalta-se que, conforme já aludido no subitem “e”, a profundidade média das obras cadastradas com estacas escavadas foi inferior a das estacas pré-moldadas, o que justifica o seu menor custo.

Tabela 5.16 – Custo Relativo / Tipos de Fundação

Tipo de Fundação	Custo (%)
SP,TB,TS	3,76
EC,EP	7,58
ER,HC,EI	6,70

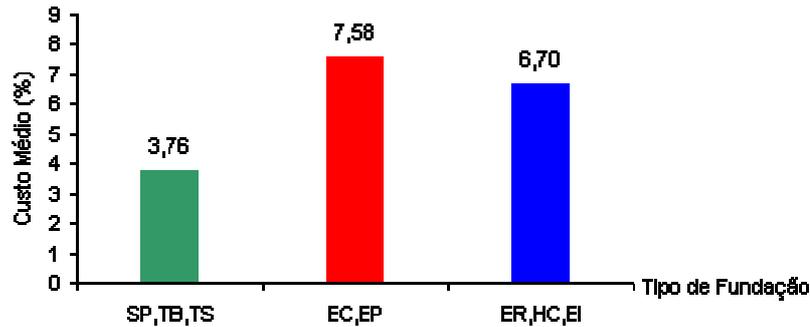


Figura 5.12 – Custo Relativos / Tipos de Fundação

5.2.3. Análise dos Resultados Relacionados ao Solo:

A análise relacionada ao solo foi procedida em função dos perfis geotécnicos esquemáticos do terreno, sistematizados conforme a Tabela 5.4., do tipo de solo da camada de assentamento; da espessura da camada e; por meio de avaliações conjuntas do solo com a fundação, de acordo com as seguintes disposições:

a) Perfil Geotécnico Esquemático do Terreno

Os perfis geotécnicos esquemáticos dos terrenos, encontrados nas obras cadastradas, estão indicados na Tabela 5.17 e no gráfico da Figura 5.13, agrupados pelos tipo “A”, “B”, “C”, “D” e “E”, mostrando claramente a preferência das construções nas áreas de terra firme da cidade, compreendida pelos perfis “A” e, decrescentemente pelos terrenos de

baixada com perfis tipo “B”, “C”, “D” e, “E”, em função da maior profundidade exigida para as fundações.

Tabela 5.17 – Perfil Geotécnico das Fundações

Perfil do Solo	N ° Obras	%
A	76	61,79
B	25	20,33
C	13	10,57
D	3	2,44
E	6	4,88
Total	123	100

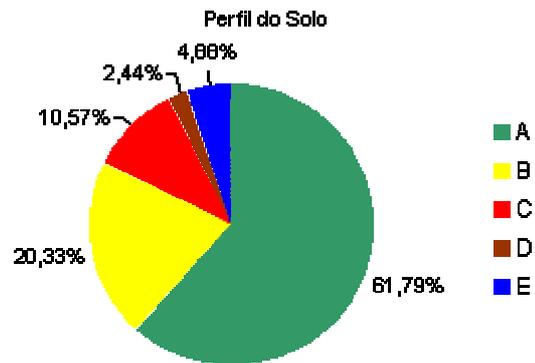


Figura 5.13- Perfil Geotécnico Das Fundações

Na Tabela 5.18 e no gráfico da Figura 5.14, são retratadas as profundidades médias das fundações, encontradas em cada perfil geotécnico esquemático, agrupadas em função do tipo de fundação, em tubulão e/ou sapata e, em fundações por estacas.

Tabela 5.18 – Perfil Geotécnico / Profundidade Média

Tipo de Perfil	Profundidade Média	
	TS,SP,TB	Estacas
A	4,91	9,15
B	0	10,96
C	0	18,09
D	0	24,67
E	3,00	10,50

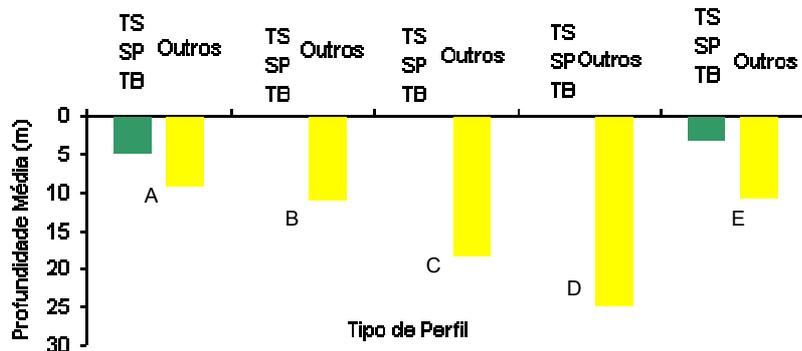


Figura 5.14 – Perfil Geotécnico / Profundidade Média

Outro tratamento de dados aplicado aos perfis geotécnicos, foi realizado identificando os percentuais de ocorrência das fundações tipo tubulão e/ou sapata e tipo estacas, em cada perfil geotécnico esquemático, conforme indicados na Tabela 5.19 e nos gráficos “a”, “b” e “c” da Figura 5.15

Tabela 5.19 – Perfil Geotécnico / Tipo de Fundação

Tipo de Perfil	Tipo de Fundação (%)	
	TS, SP, TB	Estacas
A	81,58	18,42
B, C, D	0	100
E	14,29	85,71

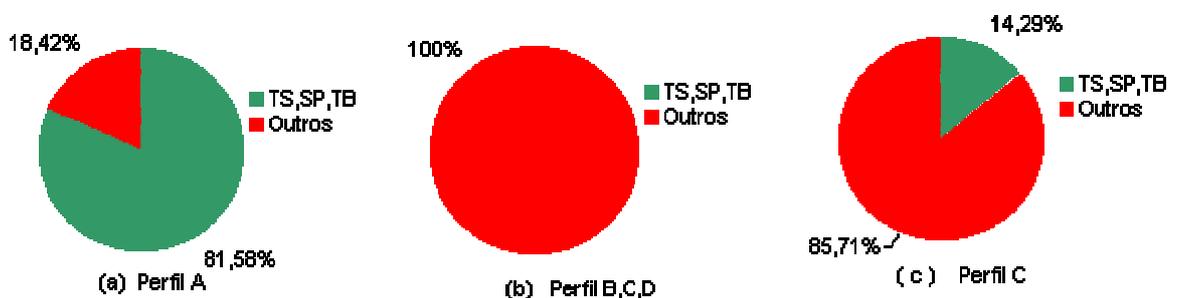


Figura 5.15 – Perfil Geotécnico / Tipo de Fundação

Na Tabela 5.20 e no gráfico da Figura 5.16, os perfis geotécnicos esquemáticos estão associados aos números de obras cadastradas em função do percentual de custo relativo da fundação, mostrando perfeitamente que as faixas de custo mais baixas ficaram situadas nos solos de terra firme com perfil esquemático tipo “A” e, se elevam gradativamente nos terrenos de baixada, tipo “E”, “B”, “C” e, “D”.

Tabela 5.20 – Perfil Geotécnico Esquemático / Custo Relativo

Custo Relativo	A	B	C	D	E
até 3%	6	0	0	0	0
3% a 4%	19	0	0	0	0
4% a 5%	12	2	0	0	2
5% a 6%	6	7	0	0	0
6% a 7%	3	5	4	0	0
7% a 8%	0	0	3	1	0
8% a 9%	0	0	0	1	0

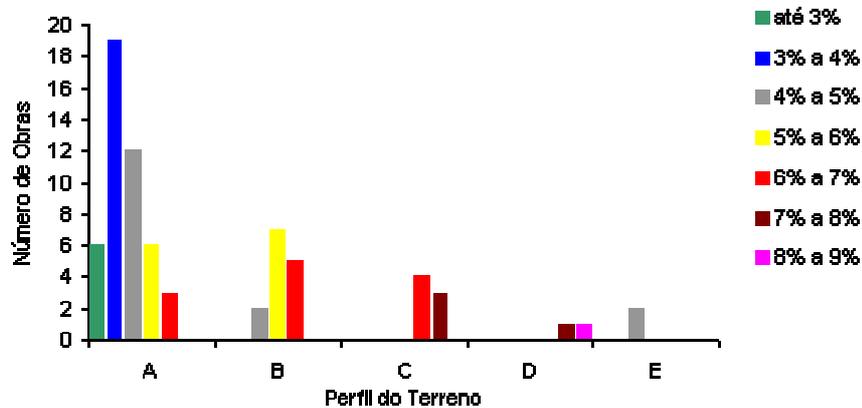


Figura 5.16 – Perfil Geotécnico Esquemático / Custo Relativo

b) Tipo de Solo da Camada de Assentamento

As camadas de assentamento das fundações foram avaliadas e agrupadas na Tabela 5.21 e no gráfico da Figura 5.17, divididas em três classes, de acordo com a predominância de sua formação geológica composta por areias; siltes e argilas, onde se observa a maior ocorrência de localização das fundações em horizontes de areia compacta ou de argila dura, o que condiz com as camadas resistentes identificadas nos “Horizontes Areno Ferruginoso e Argiloso” citados na “Coluna Estratigráfica da Região Metropolitana de Belém” abordada no capítulo-03 desta dissertação.

Tabela 5.21 – Tipo de Solo de Assentamento

Tipo de Solo	N o. Obras	%
Areia	50	40,65
Silte	21	17,07
Argila	49	39,84
Sem Registro	3	2,44
Total	123	100,00

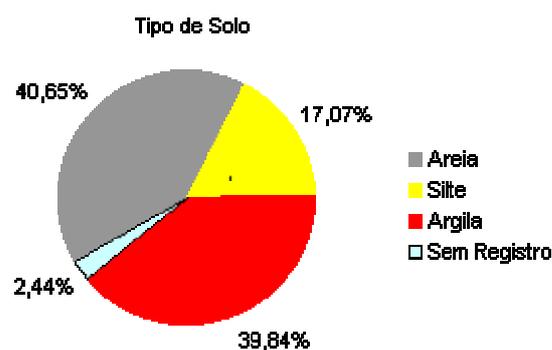


Figura 5.17 – Tipo de Solo de Assentamento

O tipo de solo da camada de assentamento também foi avaliado em função do tipo de perfil geotécnico esquemático, conforme os percentuais de ocorrência por perfil, discriminados na Tabela 5.22 e nos gráficos tipo pizza da Figura 5.18, nos quais se observa a maior predominância de camada de base argilosa nas áreas de perfis tipo “A” e “E”, onde as fundações geralmente alcançaram menor profundidade e, maior predominância de base arenosa, na medida que os perfis geotécnicos vão exigindo maior profundidade para as fundações, como nos terrenos de baixada, associados aos perfis esquemáticos tipo “C” e “D”.

Tabela 5.22 – Tipo de Solo / Perfil Esquemático

Tipo de Solo	Areia	Silte	Argila	Total
A	28,94	26,32	44,74	100
B	50	0	50	100
C	92,3	0	7,7	100
D	100	0	0	100
E	33,33	16,67	50	100

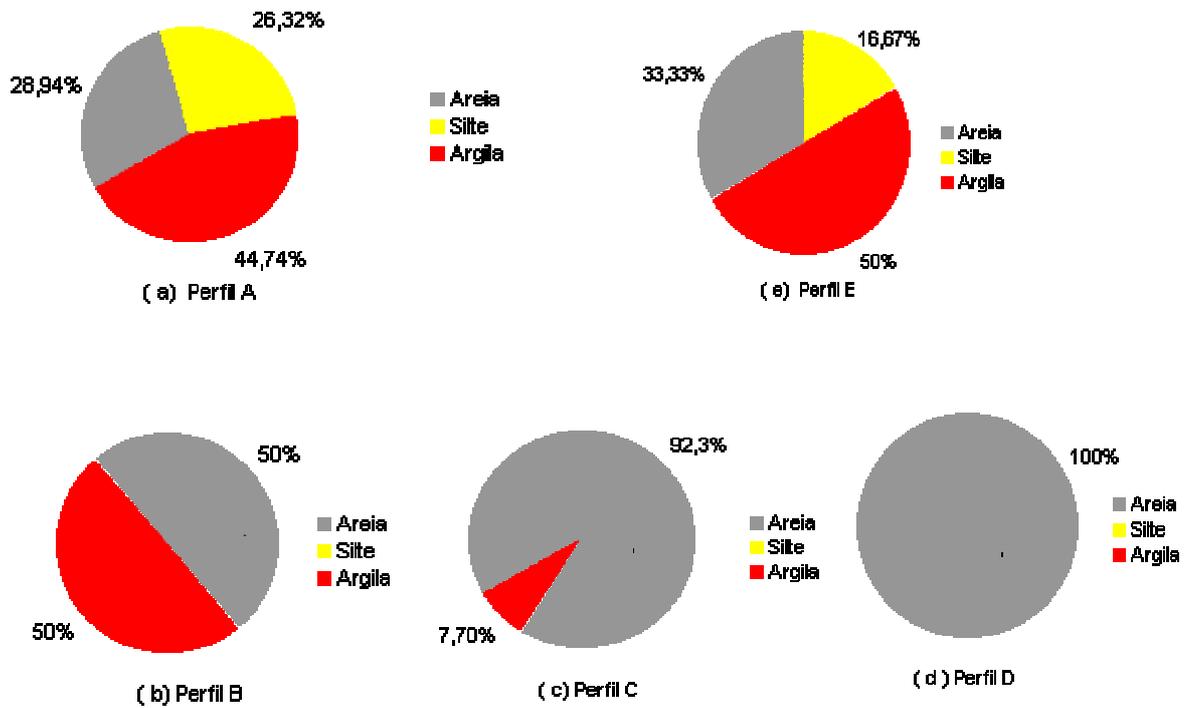


Figura 5.18 – Tipo de Solo / Perfil Esquemático

c) Espessura da Camada de Assentamento

As camadas de assentamento das fundações também foram avaliadas em função de sua espessura, conforme indicadas na Tabela 5.23 e no gráfico da Figura 5.19, onde se verifica a predominância de camadas com espessuras de até 5,0 metros, o que atesta os valores de espessuras expressos na “Coluna Estratigráfica” da formação geológica da Região Metropolitana de Belém supracitada, abordada no capítulo 03.

Tabela 5.23 – Espessura da Camada de Assentamento

Espessura da Camada (m)		%
0-5	81	65,85
5-10	33	26,83
10-15	1	0,81
15-20	1	0,81
20-25	0	0
25-30	0	0
SR	7	5,69
Total	123	100,00

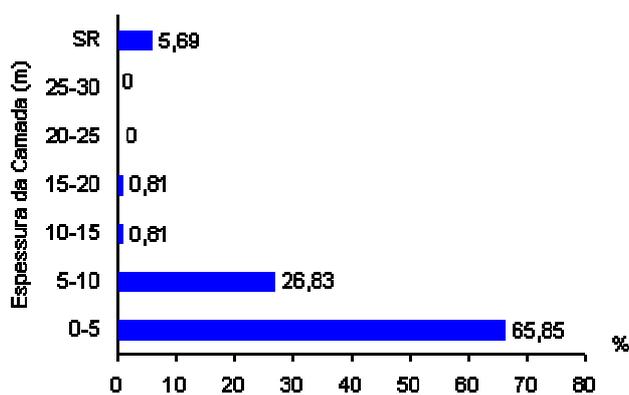


Figura 5.19 – Espessura da Camada de Assentamento

CAPÍTULO – 06

6. PROPOSTA PRELIMINAR DE PRODUÇÃO DE MAPAS GEOTÉCNICOS DE BELÉM, VOLTADOS PARA A ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES

6. PROPOSTA PRELIMINAR DE PRODUÇÃO DE MAPAS GEOTÉCNICOS DE BELÉM, VOLTADOS PARA A ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES.

6.1. ASPECTOS GERAIS DAS METODOLOGIAS DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA.

6.1.1. Considerações Gerais:

Várias são as metodologias de cartografias geotécnicas existentes no Brasil e no mundo, que visam estabelecer sistemáticas de definição e obtenção dos atributos do meio físico, a maneira de agrupá-los e estudá-los, além da forma de elaboração de produtos cartográficos. De qualquer forma, segundo Costa (2001), as metodologias estabelecem que os mapeamentos geotécnicos em hipótese alguma, substituem as investigações locais mas, basicamente, auxiliam na implementação racional dessas investigações e na interpretação de seus resultados pois, os mapas nada mais são do que uma apresentação simplificada dos fatos, e não podem, de maneira nenhuma, representar a totalidade das condições geológicas existentes, diante de todas as suas complexidades e dinâmicas.

Além disso, a maior ou menor simplicidade de um mapeamento, dependerá da finalidade do estudo, da disponibilidade dos dados e das feições geotécnicas do local a ser pesquisado.

De uma maneira geral, as principais metodologias internacionais de cartografia geotécnica, estabelecem bases para padronização dos produtos cartográficos e, quais aspectos devem ser abordados nos mapas, de maneira a atender os objetivos buscados. Todavia, não apresentam procedimentos detalhados para a realização dos mapeamentos.

Já as principais metodologias brasileiras, embora pautadas nos princípios essenciais das metodologias internacionais, apresentam também, indicações detalhadas para a elaboração dos produtos cartográficos.

De certa forma, todas as metodologias de cartografia geotécnica, são sistematizadas em três categorias de mapeamento que compreendem:

- Inventário

Cartografias de identificação inicial das características geotécnicas existentes na região, associadas à documentação de dados e cadastros e às condições geológicas, topográficas, hidrológicas, hidrogeológicas, climáticas, de formações superficiais e de ocupação do terreno.

- Diagnóstico

Cartas associadas à caracterização das propriedades e atributos do meio físico, tais como: declividade, risco de erosão, capacidade de infiltração, corrosividade, profundidade do nível d'água e zoneamentos de produtividade.

- Prognóstico

Cartografias destinadas a associar as características do meio físico com determinadas atividades tecnológicas, de maneira a identificar áreas com potencialidades a determinados processos, tal como: zoneamento às fundações, zoneamento geotécnico e áreas de materiais para a construção civil e obras viárias.

Com relação à escala, os documentos cartográficos são usualmente classificados em:

- Grande escala: 1:10.000 e maiores;
- Média escala: de 1:10.000 a 1:100.000
- Pequena escala: 1:100.000 e menores

6.1.2. Principais Metodologias.

Segundo Costa (2001), dentre as metodologias cartográficas existentes no contexto mundial e nacional, destacam-se as discriminadas abaixo:

a) Metodologia da Associação Internacional de Geologia de Engenharia
– IAEG (*International Association of Engineering Geology*)

Metodologia preparada para a UNESCO pela Comissão de Mapas Geotécnicos, publicada no ano de 1976, cuja essência é apresentar diretrizes para a identificação das interferências que, as características dos solos e rochas e os fenômenos geológicos, podem exercer sobre a engenharia, nos vários tipos de terrenos. Sua abordagem pode ser subdividida em três tópicos principais:

- Conceituações gerais dos mapas geotécnicos
- Técnicas de obtenção e interpretação dos dados
- Técnicas de apresentação dos dados em mapas geotécnicos.

b) Metodologia Francesa

Metodologia desenvolvida em 1972 por *Sanejouand* do *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*, para a indicação de diretrizes para a cartografia geotécnica francesa, baseada na realização de um balanço dos diversos tipos de mapeamentos elaborados naquele país. A metodologia propõe a:

- Classificação dos mapas em função da escala e conteúdo / forma
- Fatores considerados na elaboração dos mapas
 - natureza e propriedade das rochas
 - geomorfologia
 - hidrogeologia
 - geodinâmica interna e externa
 - materiais naturais
 - modificações do meio físico, causadas pelo homem
- Cartas de Aptidões

c) Metodologia Australiana

A metodologia é sustentada na condição de que todos os terrenos podem ser classificados através de seus aspectos topográficos, natureza e estrutura geológica, cobertura vegetal, condição de erosão e uso do

solo, e depois, trabalhados em sistemas computacionais. Inicialmente os mapeamentos são elaborados com base em interpretações aéreo fotográficas e em seguida complementados por observações de campo.

d) Metodologia da EESC-USP

A metodologia desenvolvida pela Escola de Engenharia de São Carlos propõe segundo Zuquete & Gandolfi (1990 a) *apud* Costa (2001), em fundamentos gerais, o uso de técnicas simples e objetivas no levantamento de informações para o mapeamento geotécnico, visando aplicações úteis, de caráter geral e específico, com custos reduzidos e que, permitam a realimentação de informações e a multiplicidade de uso. Os mapeamentos devem ser fundamentados principalmente por dados pré-existentes e são classificados em quatro grupos:

- Mapas básicos fundamentais que compreendem os mapas topográficos, geológicos, substrato rochoso; materiais inconsolidados (formações superficiais), hidrológicos (águas superficiais) e hidrogeológicos (águas sub-superficiais).
- Mapas básicos opcionais compreendidos geralmente pelos mapas pedológicos, geomorfológicos, declividades, climáticos e ocupação atual ou prevista.
- Mapas auxiliares como o de documentação ou de dados.
- Mapas derivados ou interpretativos, obtidos por interpretações de informações cartográficas, destinados às utilizações específicas (aptidões), como o zoneamento de fundações.

e) Metodologia do IPT

A metodologia desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo classifica os mapas geotécnicos em: cartas geotécnicas propriamente ditas, cartas de risco geológico e, cartas de susceptibilidade de fenômenos associados ao uso do solo. O processo metodológico estabelece quatro etapas complementares para a elaboração dos mapas que compreendem:

- Formulação de uma hipótese e elaboração de um modelo inicial.
- Análise fenomenológica e de desempenho.
- Mapeamento e compartimentação, compreendendo a identificação das principais evidências da investigação, coleta e análise de informações pré-existentes e definição de áreas homogêneas (compartimentação) quanto ao fenômeno estudado.
- Representação dos mapas.

f) Metodologia do IG-SP

A metodologia elaborada pelo Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, tem como objetivos a definição de diretrizes e recomendações para o uso e ocupação organizada do meio físico, bem como, a solução de conflitos e impactos provocados por ocupações inadequadas e, assessorar os planejamentos territoriais das administrações públicas estaduais e municipais. A metodologia é constituída por quatro etapas distintas:

- Inventário, que abrange a identificação e caracterização do local, com a produção de cartografias básicas do meio físico como mapa geológico; geomorfológico; materiais inconsolidados; unidades climáticas e, hidrológicos e, cartografias de análises de uso e ocupação do solo, com geração de mapas como o de zoneamento de áreas degradadas e institucionais.
- Diagnóstico, que compreende a identificação de aptidões do meio físico, envolvendo disponibilidades dos recursos naturais, condições comportamentais e de susceptibilidades, com a produção de mapas como o de potencialidades minerais; disposição de resíduos e erodibilidade.
- Prognóstico, que representa a apresentação de diretrizes gerais e específicas para otimizar a utilização dos recursos do meio físico, bem como para a solução de conflitos por usos inadequados.
- Divulgação, que consiste na tramitação dos conhecimentos produzidos e orientação à comunidade através de um relatório final; assessorias e divulgação técnico-científica.

6.1.3. Mapeamentos Geotécnicos Aplicados às Fundações.

De uma maneira geral, conforme disposto principalmente nas metodologias da EESC-USP e do IG -SP e, a formulação de diretrizes para a cartografia geotécnica no trópico úmido proposta por Costa (2001), as cartografias geotécnicas são classificadas segundo as fases de realização em três grupos de documentos: Inventário, Diagnóstico e Prognóstico. No contexto destes três grupos, os mapeamentos geotécnicos que mais podem ser aplicados à Engenharia de Fundações são:

a) Inventário:

- Mapa de Documentação das Fundações
- Mapa Geológico
- Mapa do Substrato Rochoso
- Mapa das Formações Superficiais
- Mapa de Cadastros de Sondagens de Simples Reconhecimento

b) Diagnóstico:

- Mapa de iso-valores de SPT
- Mapa de Profundidade do Nível D'água
- Mapa de Áreas de Várzea e Terra-Firme
- Mapa de Profundidade do Substrato Rochoso
- Mapa de Compressibilidade
- Mapa de Expansibilidade

c) Prognóstico:

- Cartas Para Fundações
 - Profundidade Provável
 - Classes Superficial e Profundas
 - Outras proposições
- Carta Para Escavabilidade
- Carta Para Estabilidade de Taludes
- Carta Para Obras Enterradas

6.2. ASPECTOS GERAIS DAS TÉCNICAS DE ELABORAÇÃO DE MAPAS GEOTÉCNICOS.

Diante do expressivo volume de dados necessários à elaboração das cartografias geotécnicas, a grande maioria das metodologias conhecidas, prescrevem como fase primordial do mapeamento, a compilação de informações pré-existentes, de maneira a reduzir as etapas de campo na produção dos mapas, assim como também, avaliar, preservar, e complementar os conhecimentos já produzidos. Dentre as técnicas utilizadas na elaboração dos mapeamentos geotécnicos destacam-se: os sistemas de informações geográficas – SIG (técnica utilizada nos mapas produzidos nesta dissertação), os sensoriamentos remotos, os métodos geofísicos, os métodos de amostragem de solos e rochas e os “*landforms*” (COSTA, 2001).

6.2.1. Sistemas de Informações Geográficas - SIG

As informações são elementos indispensáveis para qualquer planejamento e tomada de decisões. Na área da engenharia de fundações também se constitui elemento primário para definição adequada de projeto e processo executivo da obra. Todavia, muitas destas informações são extraviadas pela inexistência de um banco de dados que armazene todo conhecimento e experiências anteriores na prática de fundações das obras realizadas, tanto no passado distante, como no presente.

Neste contexto, o *SIG – Sistema de Informações Geográficas* ou *GIS – Geographical Information System*, surge como ferramenta de grande importância no resgate, na ordenação, na análise e, na apresentação cartográfica destes dados.

Um *SIG* pode ser definido como um conjunto de “hardware” e “software” concebido para armazenar, ordenar, analisar e atualizar dados diversos, de áreas como engenharia urbana, hidrografia, geologia, geotecnia, meio ambiente, entre outras, e apresentá-los através de informações referenciadas em cartas geográficas.

Segundo Costa (2001), existe uma expressiva diferença entre o custo de hardware, software e dados durante o uso de um SIG, da ordem de 1:10:100, deixando clara a importância de se resgatar e armazenar de forma adequada os dados e informações necessários ao mapeamento geotécnico de uma área.

Os *SIG's*, têm como objetivo principal o gerenciamento de um banco de dados, associado a sua apresentação e discretização em mapeamento geográfico. São constituídos basicamente por dois grupos de informações:

- um banco de dados geográfico / espacial, que abrange as características geográficas da superfície do terreno e,
- um banco de dados de atributos, que descreve as qualidades e informações associadas a estas características.

Vários são os fatores que justificam a utilização de um *SIG* na abordagem de um sistema de informações, dentre os quais destacam-se:

- O uso da informática na manipulação dos dados e dos mapas, permitindo inclusive a geração automática de cartas.
- A possibilidade de interação entre as informações gráficas e não gráficas
- Permitir a realização de análises diversas na área da cartografia, de maneira rápida, eficiente e com menor custo, inclusive, realizar testes analíticos de modelos conceituais.

De uma forma geral, os *SIG's* são constituídos por cinco sistemas integrados entre si:

- Sistema cartográfico
- Sistema de digitalização de imagens
- Sistema de gerenciamento de banco de dados
- Sistema de análises geográficas
- Sistema de processamento de imagens e
- Sistema de análise espacial

A elaboração dos mapas pode ser desenvolvida de duas maneiras distintas:

- através da representação “**vector**”, na qual os dados são catalogados através de definições pontuais, por coordenadas X e Y, e que, quando interligados por retas, identificam a forma gráfica de determinada característica.
- através da representação “**raster**”, os arquivos com os atributos dos dados e as características geográficas a eles associadas, são armazenados de forma integrada, em células individuais identificadas por um valor numérico, que podem representar a qualificação ou quantificação do atributo, ou uma característica geográfica.

Várias são as aplicações cartográficas dos *SIG's*, na área da geotecnia, podendo, tal como prescrevem as várias metodologias de cartografia geotécnica, produzir mapas relacionados a:

- Inventário.

Ex. mapas topográficos, geológicos, águas superficiais e subterrâneas, climáticos, ocupação e uso do solo, cadastro de sondagens, cadastro de fundações praticadas; cadastro de poços profundos; cadastro de áreas degradadas.

- Diagnóstico

Ex. mapas de risco de erosão, iso valores de SPT, impenetrabilidade, declividade, salinização, áreas de várzea e terra firme.

- Prognóstico.

Ex. mapas de profundidade prevista para fundações, escavabilidade, estabilidade de taludes, materiais para construção civil, para obras viárias, e obras enterradas.

Os *Sistemas de Informações Geográficas* possuem diversas aplicações na atualidade, como: o monitoramento ambiental realizado pelo IBAMA no caso das queimadas; o de aplicações para auxiliar o planejamento do espaço metropolitano como é o caso realizado pelo SIME – Sistemas de Informações Metropolitanas, na COHAB/PA, além de permitir realizar análises com

propósitos diversos como para a otimização do sistema de transporte coletivo, definir potencialidades de ocupação de áreas urbanas industriais e rurais, avaliar tendências de crescimento de regiões e etc..

De uma maneira geral “os SIG’s têm sua base na necessidade humana de coletar, armazenar, processar e visualizar os fenômenos geográficos do mundo real para fundamentar ações de planejamento ou análise da realidade” (AGUIAR, 2001, p. 55).

A tecnologia SIG – Sistemas de Informações Geográficas, permite que sejam realizadas análises espaciais, pois utiliza o conceito de banco de dados geo-relacional. Esta estrutura de trabalho possibilita a organização de dados sobre dois grandes grupos: **gráficos** e, **alfanuméricos**, ambos em um único ambiente de trabalho. Este ambiente possibilita análises a partir de:

- Sobreposição de camadas de informações;
- Operações de vizinhança;
- Espacialização de consulta ao banco de dados alfanumérico.

6.2.2. Sensoriamentos Remotos

De uma maneira geral, dentre os sensoriamentos remotos conhecidos, os mais utilizados na cartografia geotécnica são as fotografias aéreas, as imagens de satélite e as imagens de radar, sendo a escolha do mais apropriado, definida em função dos objetivos do mapeamento, da escala de trabalho e, da facilidade de aquisição e de operação do sistema.

As fotografias aéreas, em razão da facilidade de aquisição, da resolução espacial mais abrangente e do custo mais baixo, têm se apresentado como a melhor técnica de sensoriamento remoto, nos diversos campos da cartografia e geologia pois, permitem a realização de trabalhos em diversas escalas e, no caso do Brasil, segundo Zuquete (1987), *apud* Costa (2001), toda a extensão territorial brasileira, se encontra coberta por levantamento aéreo fotográfico na escala 1:60.000. Dentre as possíveis aplicações na engenharia Zuquete (1987) destaca estudos sobre os solos, drenagem, estabilidade, água subterrânea, erosão, jazidas de materiais para construção, estradas e, reservatórios e locais de barragens.

As imagens de satélite variam em função de sua capacidade de resolução, de 10x10m até 238x238m, sendo que o satélite Landsat-5 só permite resolução máxima na escala de 1:50.000, o que torna esta técnica mais apropriada para cartografias nesta escala ou menor. Dentre algumas aplicações geotécnicas permitidas com o recurso dos satélites, Veneziani & Dos Anjos (1982) *apud* Costa (2001), destacam-se: o planejamento para o desenvolvimento urbano, localização de minas de materiais para construção, contribuição para previsões de desastres naturais e monitoramentos superficiais.

Já as imagens de radar, embora adequadas às regiões equatoriais por serem capazes de penetrar em grandes quantidades de nuvens, são utilizáveis apenas em escalas 1:100.000 ou menores, o que as torna até o momento, não recomendáveis aos mapeamentos geotécnicos (COSTA, 2001).

6.2.3. Métodos Geofísicos

A geofísica é definida como ciência que investiga a Terra, por intermédio das propriedades físicas dos materiais e dos fenômenos físicos que nela ocorrem. Suas especialidades são a sismologia, a geotermia, a gravimetria e o geoelctromagnetismo, as quais, são utilizadas nos métodos de prospecções geofísicas e, representam importante instrumento para a cartografia geotécnica e para a geologia de engenharia.

O fundamento de um método geofísico, seja ele sísmico, gravimétrico, geoeletrico ou eletromagnético, está em se obter informações do terreno, sem observações diretas, localizando materiais geológicos, e suas disposições, além de orientar locais de sondagens, reduzindo assim ações desnecessárias. São baseados nas repostas às propriedades dos materiais geológicos como a: densidade, condutividade elétrica; susceptibilidade magnética, condução térmica, radioatividade e elasticidade.

Sua aplicação no campo da cartografia geotécnica está associada a atributos como: sismicidade, corrosividade, permeabilidade, erosão; profundidade do topo rochoso e características físico-químicas.

6.2.4. Métodos de Amostragens de Solos e Rochas

Outra técnica utilizada na produção de cartografias geotécnicas é através dos métodos de amostragens de solos e rochas, que consiste em definir inicialmente as unidades geotécnicas, e os critérios de amostragens para então ir a campo, proceder aos trabalhos de prospecção do terreno.

Conforme já apresentado no capítulo 03 deste trabalho, as prospecções geotécnicas são classificadas em ensaios diretos (que propicia a retirada de amostras deformadas e indeformadas); semi - diretos e, indiretos e, os vários métodos de sondagens também já abordados no mesmo capítulo, devem ser utilizados em função dos objetivos e a destinação do mapeamento.

De acordo com a metodologia do IAEG (1976), geralmente as amostras deformadas já são suficientes para a elaboração de mapeamentos geotécnicos associados à caracterização das camadas. Porém, é recomendável amostragem indeformadas de cada litologia.

6.2.5. “Landforms”

Vários são os conceitos atribuídos por diversos autores à palavra *landforms*, que na tradução direta para a língua portuguesa significa formas de terreno. Lollo (1994) *apud* Costa (2001), em seu trabalho ‘ “Landforms”: conceituação, descrição e aplicabilidade na caracterização preliminar de unidades do meio físico para a cartografia geotécnica’ define *landforms* como ‘uma porção do terreno originada de processos naturais e distinguível de suas unidades vizinhas (outros “landforms”) em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica; organização e densidade de drenagem, declividade do terreno, amplitude de relevo e forma da encosta’. No referido trabalho, a aplicação da técnica é sistematizada na divisão da superfície estudada em unidades consideradas uniformes, baseadas em suas características fisiográficas e, posteriormente, fundamentada geralmente em sensoriamentos remotos, a área é dividida em partes cada vez menores; com grau de detalhamento e dimensões definidas de acordo com a escala e pretensões do estudo, quando então é procedido o zoneamento geral ou específico.

6.3. PROCEDIMENTOS APLICADOS NA PRODUÇÃO DOS MAPAS.

6.3.1. Localização da Área Mapeada

A cidade de Belém, capital do Estado do Pará, está localizada no delta do Rio Amazonas, mais precisamente na foz do Rio Guamá sobre a Baía do Guajará. Seu território abrange uma superfície total de aproximadamente 700 km² distribuídos em uma parte continental e em outra parte insular formada por 37 ilhas.

A área abrangida pelos mapeamentos geotécnicos aqui apresentados compreende basicamente a Primeira Légua Patrimonial da cidade de Belém, região com maior grau de consolidação da ocupação urbana, estando localizada na parte continental do município, limitada ao sul pelo Rio Guamá; à oeste pela Baía do Guajará, à leste pelas propriedades da UFPA e EMBRAPA ao longo do contorno da Av. Perimetral e, ao Norte no entorno da Av. Dr. Freitas, seguindo até o encontro com a Baía do Guajará nas proximidades da Base Aérea de Val-de-Cans. A superfície em estudo está aproximadamente inserida no polígono formado pelos paralelos 01° 24' 00 "S e 01° 29' 00" S e, os meridianos 48° 26' 00 "W e 48° 30' 00" W (CODEM, 1998). A Figura 6.1 representa graficamente a localização do universo pesquisado.

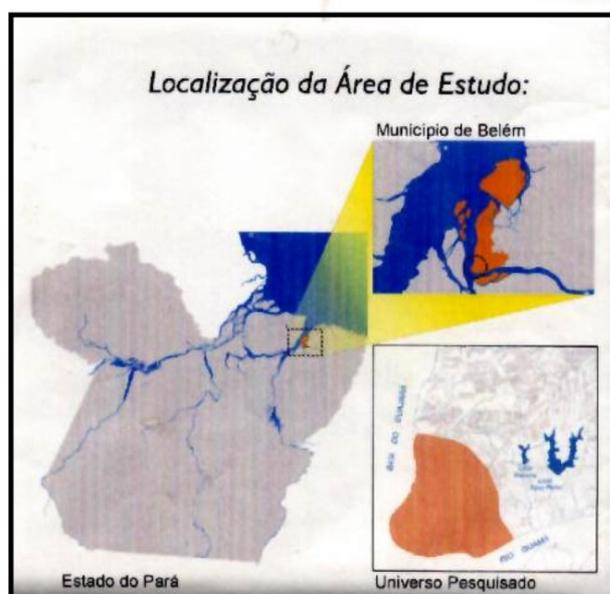


Figura 6.1 – Localização da Área Mapeada

6.3.2. Base Cartográfica

Obviamente, um fator relevante na implementação de qualquer mapeamento é a existência prévia de cartografias da região, o que felizmente, no caso da Região Metropolitana de Belém constata-se já existirem: os mapeamentos topográficos em escala 1:25.000 produzidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e pelo Exército Brasileiro; os levantamentos aerofotogramétricos nas escalas 1:4.000 (1967); 1:8.000 (1972); 1:25.000 (1972); 1:40.000 (1977) e; 1:2.000 e 1:10.000 (1998), (COSTA, 2001) e os cadastros cartográficos produzidos para a Companhia de Habitação do Estado do Pará – COHAB-PA e para a Companhia de Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém – CODEM (2000).

A base cartográfica utilizada nesta dissertação foi sistematizada nos cadastros cartográficos elaborados pela COHAB-PA e pela CODEM (2000), acima referenciados, que apresentam a região metropolitana de Belém discretizada em cartas digitalizadas, elaboradas em cadastros separados por distritos, bairros, logradouros (sistema viário) e quadras. Estes mapas foram produzidos baseados em levantamentos aereofotográficos da cidade e por observações de campo do cadastro da Prefeitura Municipal de Belém. A empresa executora foi a Aerocarta – Base, com consultoria da RETAC e financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento – BNDES.

6.3.3. Procedimentos Gerais.

O procedimento geral adotado na produção conceitual dos mapas geotécnicos propostos foi delinear a estruturação de um Banco de Dados Geográficos para implementação de uma aplicação em SIG voltado à análise das fundações na cidade de Belém no Estado do Pará, tendo como amostras, fundações utilizadas em soluções de casos recentes, localizadas na área da Primeira Léguas Patrimonial, região com maior grau de consolidação da ocupação urbana na capital paraense.

O trabalho foi desenvolvido basicamente em três fases: fase inicial, fase de coleta e implementação dos dados e a fase de elaboração dos mapas.

Na fase inicial o projeto consistiu em: avaliar os tipos de mapas geotécnicos voltados para a engenharia de fundações que seriam possíveis realizar dentro dos propósitos da pesquisa, definir as bases cartográficas que seriam utilizadas e implementar o projeto de banco de dados com os atributos para lançamento no *ArcView*. Definidos os tipos de mapas propostos e a base cartográfica, foi procedida a concepção dos dois projetos de banco de dados necessários à plataforma SIG, de acordo com a seguinte disposição:

- Projeto do banco de dados geográfico, conforme o Quadro - 6.1, contendo as entidades gráficas de hidrografia e logradouros com contornos associados a linhas; as fundações associadas a pontos e; os nomes das vias associados a anotações textuais.
- Projeto do banco de dados alfanumérico, conforme o Quadro - 6.2, contendo todas as informações levantadas na pesquisa de campo, tal como abordado no item 5.1, e definidos como atributos do SIG, separados em duas entidades de dados: a primeira associada às informações relativas à edificação (nome do prédio, endereço, número predial, tipo de uso, número de pavimentos e ano de construção) e a segunda, associada às informações concernentes às fundações (tipo de fundação, classe, camada de assentamento, espessura da camada, profundidade da fundação, capacidade de carga na base, perfil geotécnico esquemático do terreno e processo executivo), ambas correlacionadas a um código fornecido por obra cadastrada. Para cada dado foi definido o número de dígitos a serem reservados para os lançamentos, em função da informação ser do tipo numérica (*numeric*) ou textual (*string*) e da extensão esperada para os registros.

QUADRO 6.1 – RELAÇÃO ENTIDADE - BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS PARA O SIG

	ENTIDADES	DIMENSÃO ESPACIAL
1	Hidrografia	linha
2	Logradouro	linha
3	Fundação	ponto
4	Nome de vias	<i>annotation</i>

QUADRO 6.2 – PROJETO DE BANCO DE DADOS ALFANUMÉRICOS PARA USO NO S.I.G.

- ENTIDADE 1

EDIFICAÇÃO
(dados da obra)

Cod_Fund	Nome	End	Num_Pred	Uso	N_Pav	Idade
STRING/3	STRING/30	STRING/50	STRING/4	STRING/1	STRING/2	NUMERIC/4

↕ Chave relacional ↕

- ENTIDADE 2

FUNDAÇÃO
(dados da fundação)

Cod_Fund	Tipo	Clas	Camada_Base	Espes_m	Prof_m	Cap_Carga	Perfil	Custo_Rel	Proc_Exec
STRING/3	STRING/2	STRING/1	STRING/2	NUMERIC/2	NUMERIC/2	NUMERIC/2	STRING/2	NUMERIC/2	STRING/2

Os fatores operacionais utilizados para implementação da tecnologia SIG nos mapeamentos propostos, compreendem: o *software* SIG, a plataforma de hardware, o sistema operacional e os formatos de arquivos levantados em pesquisa, implementados em planilha eletrônica *Microsoft Excel*, constante do anexo 02 deste trabalho.

O *Software* SIG utilizado foi o **ArcView 3.2**; a escolha deste programa justifica-se por ele ser um dos mais usados SIG no Brasil e em Belém, por possuir uma *interface* gráfica simples e compatível com desenhos produzidos no *AutoCad*, por ter as ferramentas de análise espacial adequadas aos objetivos aqui propostos; e por ter sido utilizado em outra pesquisa desenvolvida na Universidade Federal do Pará na área de geoprocessamento (COSTA, 2001).

Foi levada em conta também a plataforma de hardware, que no caso do ArcView não precisa ser robusta, sendo suficiente um PC com 160 MB de memória RAM e 4.2 GB de HD contendo os seguintes periféricos:

- Entrada de dados: - teclado padrão, unidade leitora de CD-ROM;
- Saída de dados: - monitor de 17"; impressora e; plotter;
- Armazenamento: - CD de dados.

O *software* SIG funciona sob o sistema operacional *Windows 98 stand-alone*. Este sistema possibilita maior capacidade de processamento, pois é baseado em 32 bits.

Na fase de coleta e implementação de dados, foi realizado o cadastramento de 123 fundações utilizadas em casos recentes em Belém e depois, procedida uma análise crítica dos resultados, tal como relatado no Capítulo 05 deste trabalho.

Na fase de elaboração dos mapas, foi feita uma análise da disposição gráfica dos resultados obtidos, de modo a dividir a cidade por regiões, em função dos dados das fundações pesquisadas, de forma a extrair e divulgar conhecimento que possa servir como informação de apoio e orientação inicial a novos projetos, com a produção preliminar de cinco mapas geotécnicos voltados à engenharia de fundações, desenvolvidos em sistema de informação geográfica SIG, na escala 1:10.000, conforme exposto nos subitens seguintes.

6.4. PRODUÇÃO PRELIMINAR DE MAPAS GEOTÉCNICOS PARA A CIDADE DE BELÉM, VOLTADOS PARA A ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES.

6.4.1. Mapa de Documentação do Tipo de Fundação.

O mapa de documentação tem como objetivo realizar o registro cartográfico das informações coletadas para a elaboração dos mapeamentos geotécnicos, com propósito de garantir ao usuário o conhecimento das informações que embasaram o estudo e também, permitir futuras atualizações dos dados, atendendo a necessidade de dinâmica dos mapeamentos.

Para elaboração deste mapa, foi utilizada a base cartográfica citada no subitem 6.3.2., tendo sido lançadas pontualmente pelo número do código, as 123 obras cadastradas, identificadas pelo tipo de fundação utilizada, referenciadas na cartografia, que foi assumindo o aspecto inicial da Figura 6.2., para depois tomar a forma do Anexo-C. No lado esquerdo da carta, é apresentada a tabela de atributos com todos os dados de campo, contendo:

- Código do registro (obra)
- Identificação do prédio (mantida omissa por critérios éticos)
- Endereço com tipo de via, nome da via e, número predial;
- Tipo de uso da edificação;
- Número de pavimentos;
- Ano de construção (idade);
- Tipo de fundação;
- Classe da fundação;
- Classificação da camada de assentamento;
- Espessura da camada de assentamento;
- Profundidade da fundação;
- Capacidade de carga na base da fundação;
- Perfil geotécnico esquemático do terreno;
- Custo relativo da fundação e;
- Processo executivo da fundação

Tipo das Fundações

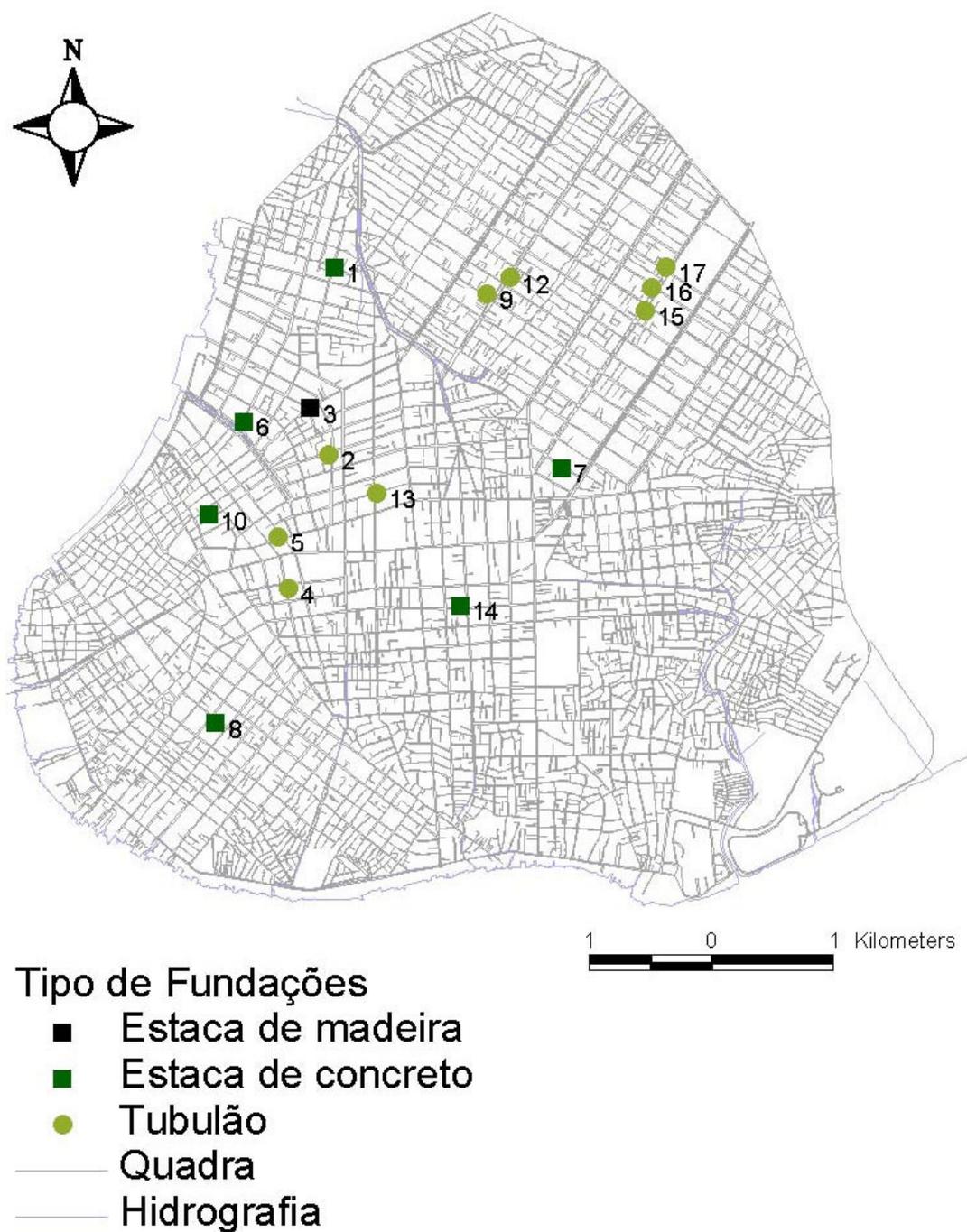


Figura 6.2. – Aspecto Inicial do Mapa Tipo de Fundações

6.4.2. Mapa das Áreas de Várzea e Terra Firme e Processo Executivo das Fundações

Conforme já abordada no capítulo 03, a cidade de Belém basicamente apresenta dois tipos de disposição superficial dos terrenos, caracterizados em função de estarem localizados em regiões de baixada ou várzea e, em regiões de cotas altas ou terra firme. Para o âmbito da engenharia de fundações, a identificação destes dois tipos de disposições do terreno, se justifica em aspectos relacionados substancialmente à classe e ao processo executivo da fundação que, no caso da várzea não permite escavações diretas e exige o uso de fundações profundas, acarretando obviamente maior custo.

As áreas de várzea compreendem as regiões de baixada da cidade, que por estarem situadas em cotas de até 3,0 metros acima do nível do mar, estão sujeitas a inundações periódicas provocadas pela maré ou pela ação pluviométrica local. São compostas por várzea alta, várzea baixa e igapó.

A várzea alta caracteriza-se por inundações esporádicas associadas ao equinócio das preamares e durante o período de maior índice pluviométrico na região que ocorre geralmente de janeiro a maio. A várzea baixa localiza-se entre a várzea alta e às margens dos corpos d'água, inundada diariamente pelas marés e pelas chuvas. E, o igapó, representa as áreas de várzea permanentemente alagadas.

As regiões de terra firme compreendem os terrenos situados em cotas altas, além do nível de maior maré, geralmente de 8 a 20 metros acima do nível do mar, com formações superficiais do solo mais antigas, geralmente com boas condições de escavabilidade e que permitem, de acordo com a obra, o uso de fundações superficiais e de menor custo. O limite entre as áreas de várzea e de terra firme pode se dar por colinas ou, de forma abrupta por falésias.

Para elaboração deste mapa, foi utilizada como base, a cartografia de Áreas de Várzea e Terra Firme apresentada por Costa (2001) que, foi desenvolvida inicialmente sobre fotografias aéreas na escala 1:40.000, produzidas em 1977 pela Terra Foto S.A., pois em função da idade, apresentavam mais fidelidade de dados pela maior preservação do meio físico. Os limites depois de individualizados, foram transferidos para a escala 1:50.000 e ajustados por observações de campo.

A partir dos dados relativos às fundações lançados no *ArqView*, foi plotado em papel vegetal na escala 1:10.000, um documento com os cadastros das 123 obras iniciais, com seus respectivos dados e, colocados sobrepostos ao mapa de Costa (2001), também impresso na escala 1:10.000. Foi então procedida manualmente uma série de ajustes das superfícies de várzea e terra firme, com a adequação de áreas aterradas anteriormente ao levantamento aerofotográfico, identificadas por informações obtidas na pesquisa e também, por registros históricos. O mapa produzido foi passado em scanner, e depois transferido ao *ArqView* para então ser complementado com os registros dos processos executivos empregados nas fundações catalogadas, comprovando a impropriedade de escavação direta nas áreas de várzea. Salienta-se que em função da falta de dados de fundações cadastradas em certas áreas enquadradas no mapa, alguns contornos tiveram que ser definidos por proposições de tendências do terreno.

O produto final do mapeamento está apresentado no Anexo-D.

6.4.3. Mapa de Perfil Geotécnico Esquemático do Terreno

O mapa de perfil geotécnico esquemático do terreno é na verdade uma espécie de proposta simplificada de mapeamento das formações superficiais da cidade, com propósitos associados à engenharia de fundações. De acordo com as considerações acerca das características do solo de Belém abordadas no item 3.3. deste trabalho e a metodologia empregada na pesquisa aludida no item 5.1.que, dividiu o solo da cidade em cinco tipos de perfis geotécnicos esquemáticos denominados tipo “A”, “B”, “C”, “D” e “E”.

Inicialmente foram lançados no *ArcView* os dados dos perfis geotécnicos esquemáticos encontrados nas 123 obras cadastradas e, produzido um documento cartográfico preliminar na escala 1:10000 plotado em papel vegetal.

Como os perfis tipo “A” estão associados às áreas de terra firme e, os perfis tipo “B”, “C”, “D” e “E” estão relacionados aos terrenos de baixada (os perfis tipo “E” têm camadas superficiais mais resistentes provavelmente geradas por laterização), foi utilizado como base cartográfica o mapa de áreas de várzea e terra firme, ao qual, foi sobreposto o mapa do parágrafo anterior, e

depois procedidos os devidos ajustes de superfícies associadas a cada perfil. Desta forma, basicamente o mapeamento final elaborado é um documento derivado da cartografia de várzeas e terra firme, subdividindo-se as áreas de baixadas, de acordo com as disposições dos perfis esquemáticos tipos “B” e “E” (agrupadas), “C” e “D”. Também neste mapa, as definições de alguns contornos foram realizadas por preposições de tendências do terreno, que podem ser reavaliadas à medida que novos pontos de fundações forem adicionados ao SIG.

O mapa produzido exposto no Anexo-E, traz ainda, uma legenda com a identificação de cada tipo de perfil, detalhado em corte esquemático, conforme a Tabela 5.4. e o quadro com a Coluna Estratigráfica da Região Metropolitana de Belém, apresentado por Costa (2001), na Tabela 3.6..

6.4.4. Mapa Profundidade Provável para Fundações

O método adotado para elaboração da carta de discretização das superfícies com as profundidades prováveis para as fundações, seguiu em tese o mesmo procedimento do mapa do item anterior, com a produção de um documento preliminar na escala 1:10.000, contendo os lançamentos no *ArcView* dos dados concernentes às profundidades das 123 fundações cadastradas, que depois de impresso em papel vegetal, foi sobreposto ao mapa de perfil geotécnico esquemático.

Em seguida, em razão de ser observada uma correlação direta da profundidade das fundações com o tipo de perfil geotécnico do terreno, foram realizados os ajustes de contorno de superfícies a partir do mapa de perfil esquemático e, dos registros de profundidades obtidos na pesquisa, identificando-se 05 faixas de profundidades prováveis para as fundações: discriminadas em:

- Profundidade provável de até 6,0 metros
- Profundidade provável de 6,0 a 10,0 metros
- Profundidade provável de 10,0 a 15,0 metros
- Profundidade provável de 15,0 a 20,0 metros e
- Profundidade provável de 20,0 a 30,0 metros ou maior.

O mapa gerado, documentado no Anexo-F, se apresenta como uma ferramenta ainda que embrionária, muito útil na concepção inicial de projetos ou estudos na área da engenharia de fundações na cidade de Belém.

6.4.5. Mapa Percentual de Custo Relativo da Fundação

Obviamente, elaborar uma cartografia que estabeleça contornos de superfícies geográficas com mesmas faixas de percentuais de custo relativo das fundações em relação ao total da obra, pode envolver bastante controvérsia, em razão de que o custo relativo da fundação sofre influência de vários fatores e, muito dependerá do padrão de acabamento da obra que, reduzirá ou elevará este percentual, caso a edificação utilize respectivamente padrão de acabamento mais alto ou mais baixo. Todavia, de posse dos dados de custos obtidos na pesquisa e embora, mais de 40% das obras tenham ficado sem registro, após análise da distribuição dos pontos de custo da fundação lançados no *ArqView*, foi verificado que seria possível ser gerado algum comportamento geográfico para os dados processados.

O procedimento para elaboração do mapa foi o mesmo utilizado nos demais. Para tal, foi gerado um documento cartográfico inicial com os dados de custo relativo das fundações de cada obra lançados no SIG, que foi impresso em papel vegetal na escala de 1:10.000 e depois sobreposto ao mapa de profundidade provável para as fundações, visto que o custo de uma fundação tende a variar diretamente com a sua profundidade. Em seguida foi feita uma análise dos resultados buscando a definição de superfícies que envolvam mesmas faixas de custo relativo, sendo então definidas em decorrência de algumas distorções observadas, apenas 03 faixas de custos representadas por:

- Custo relativo das fundações em relação ao total da obra, de até 5%.
- Custo relativo das fundações em relação ao total da obra de 5 a 7,5%
- Custo relativo das fundações em relação ao da obra de 7,5 a >10%.

A carta gerada, em caráter essencialmente preliminar, está apresentada no Anexo-G deste trabalho.

CAPÍTULO – 07

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES GERAIS

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Na contextualização deste trabalho, algumas considerações finais merecem ser realizadas de acordo com cada abordagem estudada:

7.1. QUANTO À EVOLUÇÃO DAS FUNDAÇÕES NA CIDADE DE BELÉM

Embora a cidade conte com um razoável acervo sobre sua história, muito pouco ou quase nada, existe de registro acerca das fundações praticadas nos primórdios de sua criação. Informações como tipo de fundação, largura, altura, profundidade de assentamento, condições do terreno, processo executivo utilizado, tipo e origem dos materiais empregados e principalmente, capacidade de carga exigida do solo, são alguns aspectos que podem compor uma nova pesquisa aplicada aos prédios históricos de Belém e que, contribuiria bastante para a documentação, recuperação e manutenção destas construções.

Ainda assim, mesmo com a pouca abrangência, o estudo da evolução das fundações em Belém, além da documentação técnica obtida, permitiu que informações do passado como: a existência do alagado do Piry localizado entre o bairro da Cidade Velha e o da campina e; de cursos d'água como o do igarapé São José que nascia na Praça Amazonas, na base do antigo presídio de mesmo nome e o do igarapé do Reduto que tinha nascente no cruzamento da Av. Assis de Vasconcelos com a Av. Nazaré, onde havia a fonte da piedade, hoje encobertas pelo desenvolvimento urbano, fossem consideradas nos mapeamentos geotécnicos produzidos nesta dissertação, auxiliando no entendimento do comportamento das fundações de construções existentes nestes locais ou, na fundamentação de obras futuras, a serem ali implementadas.

7.2. QUANTO ÀS SONDAGENS PRATICADAS E AS CARACTERÍSTICAS DO SOLO DE BELÉM

Todas as obras catalogadas nesta pesquisa foram fundamentadas em sondagens de subsolo do tipo SPT, o que atesta a eficiência deste tipo de investigação geotécnica para a definição de fundações nas condições de solo de Belém, mas também, permite que se faça observações como: a inexistência até o momento, de um banco de dados de sondagens apropriado em sistema de informações geográfico SIG com implementação, por exemplo, de mapa geotécnico do tipo iso -valores de SPT, com compromisso da comunidade técnica para sua contínua realimentação, e ainda, diante de tanta evolução tecnológica, não se utilize outro método complementar de prospecção geotécnica como o piezocone, que em obras de maior porte, teriam seu custo justificado.

Em se tratando das características do solo de Belém, através dos dados coletados concernentes as condições do terreno das 123 obras catalogadas na pesquisa, confirmam-se as propostas de Costa (2001) em sua apresentação de uma coluna estratigráfica para Região Metropolitana Belém (Tabela 3.6) onde define as três unidades litológicas do subsolo com descrição resumida dos vários horizontes geológicos encontrados ao longo da profundidade e ainda, as citações de Oliveira Filho (1981) e Alencar Jr. *et al.* (2002) que dividem o subsolo da cidade em duas formações principais: as áreas de baixada e as áreas de terra firme; conforme configurações descritas no 3.3.1. Além disso, são agrupadas informações relativas aos principais parâmetros geotécnicos das camadas mais freqüentemente encontradas na formação superficial do subsolo da cidade, o que muito auxiliará no desenvolvimento de estudos voltados à mecânica dos solos e engenharia de fundações no local.

Considerando os dados históricos e os registros pesquisados, comprova-se a preferência pelos terrenos de terra firme que, nos dados da pesquisa atingiram praticamente 67% das obras catalogadas.

7.3. QUANTO ÀS FUNDAÇÕES MAIS USADAS NA CIDADE DE BELÉM

As fundações utilizadas em Belém ao longo de toda a sua história são entre as fundações superficiais: as faxinas, os alicerces corridos, os blocos simples, as sapatas e o radier e, entre as fundações profundas: os tubulões, as estacas de madeira, as estacas pré-moldadas de concreto, as estacas metálicas, as estacas tipo Franki, as estacas tipo raiz e as estacas tipo hélice contínua.

Considerando-se uma avaliação cronológica, sobre as fundações utilizadas pode-se afirmar que desde a criação de Belém em 1616 até aproximadamente a década de 30 no século XX, estas eram substancialmente superficiais do tipo: faxinas, blocos simples ou alicerces corridos. A partir da década de 40 do mesmo século, quando se iniciou a verticalização da cidade, foram implementadas as sapatas armadas, os tubulões e o radier. E, somente nos primórdios dos anos 70 os edifícios altos começaram a avançar para áreas de baixada, ou mesmo, atender maior capacidade de carga, pela implementação das técnicas das fundações profundas com o uso das estacas pré-moldadas de concreto, Franki e metálicas; depois, no final dos anos 80 com as estacas tipo raiz e, no princípio do século XXI com a introdução das estacas tipo hélice contínua.

De acordo com os dados das obras catalogadas na pesquisa, muitas conclusões puderam ser tiradas. Com relação à carga de trabalho adotada nas fundações e, considerando-se toda a carga distribuída na base(superficiais), ou topo (estacas), em média as fundações superficiais tipo sapata e tubulões utilizam $3,4 \text{ kgf/cm}^2$; as estacas pré-moldadas de concreto 56 kgf/cm^2 ; as estacas tipo raiz 90 kgf/cm^2 e as tipo hélice contínua 67 kgf/cm^2 , o que condiz com as capacidades de carga usuais expostas nas tabelas 4.6 a 4.11. Quanto à profundidade de assentamento; sapatas e tubulões nos edifícios altos alcançaram em média 4,5 m; as estacas pré-moldadas de concreto 17 m e as estacas escavadas em torno de 11 m. E, quanto ao custo das fundações em relação ao total da obra, as sapatas e tubulões chegaram em média a 3,8%; as estacas pré-moldadas de concreto 7,5% e as estacas escavadas, de certo, pelo uso em menor profundidade, 6,7%.

7.4. QUANTO AOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS PRELIMINARMENTE ELABORADOS PARA A CIDADE DE BELÉM

Mapa de Documentação dos Tipos de Fundação

O mapa com a documentação das fundações utilizadas na cidade de Belém serve de orientação inicial na fundamentação de novos projetos de fundação, além de se constituir num valioso registro técnico e, por ter sido concebido em sistema de informação geográfica se apresenta de fácil atualização, bastando se fazer a implementação de novos dados no *Excel* e depois no *ArcView*.

Mapa das Áreas de Várzea e Terra Firme e Processo Executivo das Fundações

A identificação na superfície da cidade dos locais em que o terreno é constituído por várzea ou por terra firme, compreende, diante das características e parâmetros geotécnicos associados aos solos encontrados nestas duas regiões e, associado ao processo executivo apropriado às fundações, um documento técnico, que entre outras funções, permite identificar as áreas em que independente do porte da obra, exige fundações profundas no caso das várzeas e, áreas que aceitam fundações superficiais e processos de escavação direta no caso de terra firme.

Mapa de Perfis Geotécnicos Esquemáticos do Terreno

O documento cartográfico com as superfícies de identificação do perfil geotécnico provável para o terreno, de acordo com as cinco configurações de perfil propostas, permite ao profissional de engenharia ter uma noção inicial da

provável condição de disposição do subsolo e que, em função dos vários tipos de fundações possíveis de associar a cada perfil, auxiliará numa primeira definição de projeto. A atualização deste mapa pode ser facilmente realizada através da realimentação do *ArcView* com os novos dados e depois, procedidos os ajustes das superfícies conforme os atributos dos novos pontos lançados.

Salienta-se que algumas áreas da cidade como os bairros do Guamá; Terra Firme e, parte da Sacramento, Telégrafo; Val-de-Cans, Cremação, Condor e Arsenal, não foram abrangidas suficientemente pela pesquisa e, necessitam de registros complementares para melhor precisão do mapa. Esta observação vale para os demais mapas.

Mapa da Profundidade de Assentamento

O mapeamento com as superfícies associadas às várias faixas de profundidade provável para as fundações, muito embora, como por qualquer outro documento cartográfico aqui proposto, não suprima a necessidade de investigação do subsolo, se constitui em um valioso instrumento de estudo para a engenharia de fundações local, facilitando a concepção de anteprojetos e, oferecendo uma visão primária do posicionamento das fundações. Sua atualização, assim como nos demais mapeamentos, é facilmente procedida com a realimentação da planilha eletrônica do *Excel* e introdução dos novos dados no *ArcView*, para então se realizar o ajuste das superfícies com os novos pontos incorporados ao mapa.

Mapa do Custo Relativo das Fundações

A proposta de se oferecer à comunidade técnica local um documento cartográfico com disposição de superfícies associadas a faixas de percentuais de custo relativo às fundações, foi cercada de muito receio, em razão da enorme quantidade de variáveis que envolvem qualquer estudo de custo, podendo assim a cartografia se constituir em um verdadeiro fiasco. Ainda assim, diante de ter sido

possível se gerar um mapa derivado dos demais que, traduzisse alguma representação de faixas de custos relativos às fundações, mesmo com apenas três grupos percentuais, foi aceito o desafio e produzida a carta, a qual pode ser atualizada similarmente às outras. Provavelmente, uma melhor análise da viabilidade deste mapa só possa ser confirmada com um número maior de dados.

7.5. QUANTO A COMPROVAÇÃO DAS HIPÓTESES

As duas hipóteses lançadas nesta dissertação foram comprovadas.

A primeira, quando pela formação de um banco de dados associados às fundações de obras já realizadas em Belém contendo informações como: tipo de fundação, profundidade de assentamento, processo executivo empregado e carga de trabalho considerada, traduz-se em um importante instrumento de orientação inicial na escolha e definição de um projeto de fundação em áreas adjacentes aos registros, auxiliando projetistas e construtores locais.

A segunda, comprovada pela elaboração em sistema de informações geográficas através do programa *ArcView*, dos cinco mapas geotécnicos apresentados, atestando a possibilidade de serem produzidos.

Desta forma, este trabalho apresenta uma proposta preliminar de registro ordenado e de mapeamento geotécnico, para soluções utilizadas em fundações na cidade de Belém, sem a pretensão de conter totalidade de acertos, mas substancialmente, tendo a coragem de traçar linhas iniciais, que possam fomentar a análise crítica e a evolução construtiva destes estudos, por trabalhos futuros de continuidade, permitindo assim, que as atividades de construtores e projetistas locais voltados à engenharia de fundações sejam facilitadas e, melhor fundamentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:** Projeto e Execução de Fundações, Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 6023:** Informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2000

_____. **NBR 6024:** Numeração progressiva das seções de um documento. Rio de Janeiro, 1989

_____. **NBR 6027:** Sumário. Rio de Janeiro, 1989

_____. **NBR 6028:** Resumos. Rio de Janeiro, 1990

_____. **NBR 6029:** Apresentação de livros. Rio de Janeiro, 1993

_____. **NBR 6034:** Preparação de índices de publicações. Rio de Janeiro, 1989

_____. **NBR 10522:** Abreviação na descrição bibliográfica. Rio de Janeiro, 1988

_____. **NBR 10524:** Preparação de folha de rosto de livro. Rio de Janeiro, 1988

_____. **NBR 10719:** Apresentação de relatórios técnico-científicos. Rio de Janeiro, 1989

_____. **NBR 14724:** Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2001

AGUIAR, Regivaldo Rossy da Silva, **Análise Urbana de Centros Históricos com Visualização Cartográfica em SIG – Estudo de caso centro histórico de Belém do Pará**, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, (Monografia de Especialização), 2001

ALENCAR JR., Júlio Augusto, **Fundações para construções**, notas de aulas, Belém, 1998.

ALENCAR JR., Júlio Augusto; FRAIHA NETO, Salim H.; SARÉ, Alexandre; MENDONÇA, Tales. **Características Geotécnicas de Algumas Argilas da Cidade de Belém.**, São Paulo, XII COBRAMSEG, Anais, 2002.

ALONSO, Urbano Rodrigues, **Exercícios de Fundação**, São Paulo, Edgard Blücher, 1983

_____. **Fundações Profundas**, São Paulo, Edgard Blücher, 1986

_____. **Previsão e controle das fundações**, S.Paulo, E.Blücher, 1991

CAPUTO, Homero Pinto, **Mecânica dos Solos e suas aplicações**, vol. 01, 02, 03, Livros Técnicos e Científicos, 1988.

CINTRA, José Carlos. **Fundações em solos colapsíveis**, São Carlos, Serviço gráfico da EESC/USP, 1998.

COIMBRA, Osvaldo. **A Saga dos Primeiros Construtores de Belém.** Belém, Imprensa Oficial do Estado, 2002.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM - CODEM, **Plantas cartográficas da cidade de Belém e arredores**, em escala 1:10.000, 05 mapas, Belém, 2000.

_____. **Levantamento aéreo fotográfico da cidade de Belém e arredores**, em escala 1:10.000. Belém, 1998.

_____. Plano de desenvolvimento da grande Belém: metodologia, estudos básicos, prognósticos, desenvolvimento e sistema, Belém, 1979.

COMPANHIA DE HABITAÇÃO DO ESTADO DO PARÁ – COHAB-PA, **Plantas Cartográficas da Cidade de Belém e Arredores.**, Belém

COSTA, Tony; GANDOLFI, Nilson; COSTA, Jamer. **Carta de Áreas Preferenciais à Exploração de Materiais Naturais de Construção da R.M. de Belém na Esc.1:50000** In 10 ° Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Ouro Preto, 2002.

COSTA, Tony Carlos Dias da, **Análise crítica das metodologias gerais de mapeamento geotécnico visando formulação de diretrizes para a cartografia geotécnica no trópico úmido e aplicação na região metropolitana de Belém**, escala 1:50.000. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 2001. 2v. (Tese de Doutorado).

CRUZ, Ernesto. **As Edificações de Belém (1783 – 1911)**. Belém, Conselho Estadual de Cultura, 1971.

_____. **História de Belém**, Belém, Universidade Federal do Pará, 1973.

_____. **Ruas de Belém**, Belém, Cejup 2^a ed., 1992.

FARIAS, Raimundo Nonato; CARDOSO, Midson C. Feitosa, **Avaliação do Nível de Colapssibilidade em uma Camada Silto Arenosa da Cidade de Belém – PA**, Belém, Universidade Federal do Pará, Departamento de Construção Civil, Trabalho para obtenção parcial do grau no curso de engenharia civil, 2001.

FERRAZ, Eugênio, **Convento dos Mercedários de Belém do Pará: Breve Histórico e Registro de sua Recuperação**, 2^a ed. Belo Horizonte, 2000.

FUNDESP, **Catálogo de produtos**, São Paulo, 1996.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapeamento geral do Brasil – 1991** IBGE – Diretoria de Geociências, Departamento de Cartografia, Rio de Janeiro, 1991.

HACHICH, Waldemar... et al., **Fundações: teoria e prática**. São Paulo, Pini 1996.

MEIRA FILHO, Augusto, **Evolução Histórica de Belém do Grão Pará**. Volumes I e II 1^a ed., Belém, 1976.

MORAES, Marcelo da Cunha, **Estruturas de Fundação**, São Paulo, McGraw-Hill, 3^a ed. 1976.

MOREIRA, Sílvia M. Bitar de Lima. **Normalização de Trabalhos Acadêmicos**. Belém, Universidade Federal do Pará, 2001.

NOVAES Carlos Eduardo; LOBO César. **História do Brasil para principiantes: de Cabral a Cardoso, 500 anos de novela**, São Paulo: Ed. Ática, 1997.

OLIVEIRA FILHO, Ubirajara Marques, **Fundações Profundas**, Belém, Falângola, 1981.

OLIVEIRA, Janete Marília Gentil Coimbra de., **Produção e Apropriação do Espaço Urbano: A Verticalização em Belém do Pará**, São Paulo, Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Tese de Doutorado, 1992.

SALAME, Antonio Massoud; ALMEIDA, Paulo R. Bastos. **Catálogo de Perfis Geotécnicos da Cidade de Belém – PA**. Belém, Universidade da Amazônia, 1997.

SAMPAIO Jr., J. L. C., **Estudo da Compressibilidade de um Solo Argiloso na Região Metropolitana de Belém – Pará**, Rio de Janeiro, 1995, PUC-RJ, Departamento de Engenharia Civil, Dissertação de Mestrado.

SANTOS FILHO, Wandemir M, **Mapa Geotécnico de Belém – Uma Proposta Inicial**, Belém, Universidade Federal do Pará, Departamento de Construção Civil / CT, 1993, Trabalho desenvolvido para obtenção parcial de grau no curso de engenharia civil.

SARÉ, Reis Alexandre; MENDONÇA, Tales Moura; **Avaliação das Características Geotécnicas de uma Argila Mole à Média de Belém – PA**. Belém , Universidade Federal do Pará, Departamento de Construção Civil - CT, Trabalho desenvolvido para obtenção parcial de grau no curso de engenharia civil, 2001.

SARGES, Maria de Nazaré. **Belém: Riquezas Produzindo a Belle-Époque (1870-1912)**, Belém: Ed. Paka-Tatu, 2000.

SECRETARIA DE CULTURA DO ESTADO DO PARÁ - SECULT, **Belém da Saudade: A Memória de Belém do Início do Século, em Cartões Postais**, Belém, 1996.

VEIGA, J & COSTA A F.M.V., **Contribuição a proposta de mapeamento geotécnico da área urbana de Belém.**, Belém: Universidade Federal do Pará, Departamento de Construção Civil. – CT, Trabalho desenvolvido para obtenção parcial de grau, 1997

ZUQUETE, L.V.; GANDOLFI, N., Mapeamento geotécnico: levantamento e análise das metodologias e sistemáticas mais utilizadas. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, VII, Belém, 1998. **Anais**. Belém. p. 591-605.

ANEXOS:

A – Ficha de Cadastro de dados das fundações

B – Planilha de Coleta de Dados – (planilha Excel)

Modelos de mapas propostos

C - Mapa de Documentação do Tipo de Fundação

D - Mapa Áreas de Várzea e Terra Firme e Processo Executivo das fundações.

E - Mapa de Perfil Geotécnico Esquemático do Terreno

F - Mapa da Profundidade Provável para as Fundações.

G - Mapa de Percentual do Custo Relativo das Fundações.